

PENGGUNAAN BIOCHAR DI LAHAN KERING

by Hidayati Karamina

Submission date: 27-Nov-2019 03:10PM (UTC+0700)

Submission ID: 1222731754

File name: Widowati_Buku_Penggunaan_Biochar_di_Lahan_Kering.doc (2.32M)

Word count: 54176

Character count: 298454

PENGUNAAN BIOCHAR DI LAHAN KERING

**WIDOWATI
SUTOYO
HIDAYATI KARMINA**

**UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADEWI
MANG
2019**

KATA PENGANTAR

Penulis panjatkan puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas selesainya buku ajar yang berjudul: “Penggunaan Biochar Pada Lahan Kering”. Buku ajar ini disusun dari berbagai hasil penelitian yang dilakukan penulis dan dari beberapa referensi terkait sehingga menjadi sebuah buku yang mudah dipahami para pembaca khususnya mahasiswa yang mengambil mata kuliah Manajemen Kesuburan Tanah, Rekayasa Teknologi Pertanian, dan Teknologi Biochar. Dengan mempelajari buku ini mahasiswa diharapkan mendapatkan gambaran secara jelas bagaimana penggunaan biochar di lahan kering dan selanjutnya dipraktekkan di lapangan.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Tribhuwana Tungadewi, Kemenristek-Dikti, PT Gudang Garam, Tbk, PT BISI Internasional, T³ yang telah membantu penulis melakukan penelitian tentang karakteristik biochar dan pupuk organik pada beberapa jenis tanah di lahan kering. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat bermanfaat bagi pembaca yang mempelajari dan mendalaminya.

149

Demi sempurnanya¹² buku ini, penulis bersedia menerima kritik dan saran yang membangun. Untuk itu penulis dengan senang hati menerima kritik dan saran demi sempurnanya buku ini. Semoga buku ini bermanfaat!

Malang, Juni 2019

1

Tim Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
I. PENDAHULUAN.....	1
II. LAHAN KERING.....	4
2.1. Potensi Lahan Kering.....	5
2.2. Kendala Lahan Kering.....	8
III. JENIS TANAH.....	10
3.1. Litosol	10
3.2. Mediteran	11
3.3. Regosol	12
IV. BIOMASA SEBAGAI BAHAN BAKU BIOCHAR.....	14
4.1. Sifat Bahan Baku	17
4.1.1. Nitrogen.....	19
4.1.2. Kation basa.....	19
4.1.3. Sulphur	20
4.1.4. Fosfor	20
V. KARAKTERISTIK BIOCHAR.....	21
5.1. Porositas dan Luas Permukaan Biochar.....	24
5.2. Karakteristik Jenis Biochar dan Pupuk Organik.....	24
5.3. Suhu Pirolisis	28
5.4. Karakteristik Fisik Biochar	29
5.5. Asal Struktur Biochar	30
5.6. Karakteristik Struktural.....	30
5.7. Luas Permukaan Tanah dan Biochar	31
5.8. Distribusi Ukuran Partikel	32
5.9. Penggunaan Teknologi.....	33
5.10. Kepadatan Biochar	33
5.11. Karakteristik Biologi Biochar	34
5.12. Biochar Sebagai Habitat Bagi Mikroorganisme Tanah	35
5.13. Biochar Sebagai Substrat Untuk Biota Tanah.....	37

VI.	KANDUNGAN UNSUR HARA BIOCHAR	40
6.1.	Kandungan Total Unsur	42
6.2.	Unsur Hara Yang Tersedia	43
6.3.	pH dan Pengapuran	44
6.4.	Retensi Hara	45
6.5.	Kapasitas Tukar Kation (KTK) Biochar	46
6.6.	Kapasitas Pertukaran Ion	48
VII.	EFEK BIOCHAR TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL TANAMAN	50
VIII.	PENGARUH PEMBERIAN BIOCHAR TERHADAP KESUBURAN TANAH	54
8.1.	Efek Biochar pada Sifat Fisik Tanah	56
8.2.	Efek Biochar pada Sifat Kimia Tanah	60
8.3.	Efek Biochar pada Sifat Biologi Tanah	67
IX.	INKUBASI JENIS BIOCHAR DAN PUPUK ORGANIK PADA SIFAT FISIK TANAH LITOSOL, ALFISOL, DAN ENTISOL	71
9.1.	Bobot Isi Tanah	73
9.2.	Bobot Partikel Tanah	74
9.3.	Porositas tanah	75
X.	INKUBASI JENIS BIOCHAR DAN PUPUK ORGANIK PADA SIFAT KIMIA TANAH	81
10.1.	Kandungan Bahan Organik Tanah	81
10.2.	Kapasitas Tukar Kation (KTK)	85
10.3.	pH tanah	90
10.4.	Kejenuhan Basa (KB)	94
10.5.	Kation Basa	97
10.6.	Kadar Nitrogen	101
10.7.	Kadar Fosfor	105
10.8.	Kadar Kalium	109
10.9.	Kadar Calsium	113
10.10.	Kadar Magnesium	117
XI.	PENGARUH JENIS BIOCHAR DAN PUPUK ORGANIK TERHADAP PERTUMBUHAN DAN HASIL JAGUNG DI TANAH LITOSOL, ALFISOL, DAN ENTISOL	122
11.1.	Tinggi Tanaman	122
11.2.	Biomasa Tanaman	123

11.3. Analisis Pertumbuhan Tanaman.....	124
11.3.1. Indeks Luas Daun (ILD).....	124
11.3.2. Luas Daun Spesifik	125
11.4. Hasil Jagung Pipilan	126
DAFTAR PUSTAKA	129

DAFTAR TABEL

Tabel 1.	Karakteristik tanah sebelum pemberian biochar dan pupuk organik (kondisi awal)	13
Tabel 2.	Karakteristik biochar, biomasa, dan pupuk organik	27
Tabel 3.	Bobot isi tanah pada masing-masing jenis tanah	74
Tabel 4.	Bobot partikel tanah pada masing-masing jenis tanah	75
Tabel 5.	Porositas tanah pada masing-masing jenis tanah	76
Tabel 6.	Persentase pori makro pada masing-masing jenis tanah	78
Tabel 7.	Persentase pori meso pada masing-masing jenis tanah	79
Tabel 8.	Persentase pori mikro pada masing-masing jenis tanah	80
Tabel 9.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-7 ..	82
Tabel 10.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-14 ..	83
Tabel 11.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-28 ..	83
Tabel 12.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-56 ..	84
Tabel 13.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-98 ..	85
Tabel 14.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-7	86
Tabel 15.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-14	87
Tabel 16.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-28	88
Tabel 17.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-56	89
Tabel 18.	Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-98	90
Tabel 19.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	91
Tabel 20.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	92
Tabel 21.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	92
Tabel 22.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	93
Tabel 23.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	94
Tabel 24.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	94
Tabel 25.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	95
Tabel 26.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	96
Tabel 27.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	96
Tabel 28.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	97
Tabel 29.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	98
Tabel 30.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	99
Tabel 31.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	99
Tabel 32.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	100
Tabel 33.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	100
Tabel 34.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	102
Tabel 35.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	103
Tabel 36.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	103
Tabel 37.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	104
Tabel 38.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	105
Tabel 39.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	106
Tabel 40.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	107
Tabel 41.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	108
Tabel 42.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	108
Tabel 43.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	109
Tabel 44.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	110
Tabel 45.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	111
Tabel 46.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	111

Tabel 47. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	112
Tabel 48. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	113
Tabel 49. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7.....	114
Tabel 50. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14.....	115
Tabel 51. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28.....	115
Tabel 52. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56.....	116
Tabel 53. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98.....	117
Tabel 54. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7.....	118
Tabel 55. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14.....	119
Tabel 56. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28.....	119
Tabel 57. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56.....	120
Tabel 58. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98.....	121
Tabel 59. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap tinggi tanaman pada Alfisol, Entisol, dan Litosol	123
Tabel 60. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap berat kering biomasa tanaman pada Alfisol, Entisol, dan Litosol	124
Tabel 61. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Indeks Luas Daun pada Alfisol, Entisol, dan Litosol.....	125
Tabel 62. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Luas Daun Spesifik pada Alfisol, Entisol, dan Litosol.....	126
Tabel 63. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap hasil jagung pipilan pada Alfisol, Entisol, dan Litosol.....	128

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram menunjukkan hubungan antara sifat biochar (lingkaran luar), tanah(lingkaran menengah) dan sebuah biota tanah (lingkaran dalam) (Dari Lehman et al., 2011)	68
---	----

I. Pendahuluan

Kabupaten Malang memiliki wilayah seluas 324.423 ha¹⁵ dan terletak pada urutan luas terbesar kedua setelah Kabupaten Banyuwangi dari 38 kabupaten/kota diwilayah Propinsi Jawa Timur. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian tahun 2013, luas lahan sub optimal di Indonesia yang sesuai untuk lahan pertanian mencapai 91,9 juta ha. Lahan terluas adalah lahan kering masam seluas 62,6 juta ha (68,1%), lahan pasang surut seluas 9,3 juta ha (10,1%), lahan kering iklim kering seluas 7,8 juta ha (8,2%), lahan gambut seluas 4,7 juta ha (5,1%). Di Jawa Timur, luas lahan ladang/huma dan tegal/kebun pada tahun 2012 mencapai 1.167.572 ha, khusus di Kab. Malang mencapai 104.512 ha (9%).

Lahan kering sangat potensial dikembangkan mengingat luasan lahan subur terbatas, ketersediaan dan penggunaan lahan pertanian berkurang, dan ketidak mungkinan perluasan areal baru untuk lahan pertanian. Satari (1977)¹⁷ menyatakan lahan kering adalah lahan yang dalam keadaan alamiahnya sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun beradadi bawah kapasitas lapang⁸².

Proses pembentukan dan perkembangan tanah dipengaruhi bahan induk, topografi, iklim, organisme, dan waktu (Hanafiah, 2005). Kelima faktor pembentuk tanah akan menghasilkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda sehingga menjadi bagian penting dalam upaya mengelola tanah. Kendala internal lahan kering berkaitan dengan bahan induk tanah yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah dan faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas rendah. Informasi dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jatim (2013), bahwa produksi jagung seluas 218 ha sebesar 936,65 ton (4.3 ton/ha) dan produktivitas 42,97 (kw/ha).

Masalah yang sering kali muncul pada lahan kering adalah kapasitas menahan air dan ketersediaan air yang rendah sehingga menyebabkan cekaman kekeringan, peka terhadap erosi, mempunyai top soil yang tipis, bahan organik rendah sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi dan kapasitas tukar kation rendah dan unsur hara mudah tercuci, miskin unsur hara N, P, K, Ca, Mg sehingga memerlukan pemupukan anorganik dengan dosis tinggi.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas lahan kering, diantaranya penataan lahan, pengelolaan air, pengelolaan tanaman, menggunakan bentuk-bentuk pola tanam, sistem pertanian konservasi tanah, pengelolaan bahan pembenah tanah, pengelolaan pemupukan organik, dan pengendalian gulma. Beberapa hasil penelitian

tentang penggunaan bahan pembenah tanah untuk merehabilitasi lahan kering terdegradasi telah dilakukan, seperti zeolit (Sutono dan Agus, 1998), pupuk kandang (Abdurahman *et al.*, 2000), biomassa flemingia dan sisa tanaman (Nurida, 2006), dan biomasa tumbuhan dominan dilahan kering. Beberapa penelitian yang menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah, diantaranya pada lahan kering masam terdegradasi Taman Bogo Lampung (Nurida *et al.*, 2012), pada tanah sulfat masam di Kalimantan (Masulili *et al.*, 2010), tanah lempung berpasir di Lombok Utara (Sukartomo *et al.*, 2011 dan Suwardji *et al.*, 2012), dan lahan kering dari wilayah berkapur Malang Selatan (Tambunan *et al.*, 2014), dan tanah yang sedang terdegradasi (Widowati *et al.*, 2014).

Hasil-hasil penelitian tentang penggunaan biochar telah membuktikan bahwa biochar merupakan bahan amandemen tanah yang sangat prospektif (Wolf, 2008). Disamping dapat memperbaiki sifat tanah, penggunaan biochar pada tanah tropika dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah dalam jangka panjang (Glaser *et al.*, 2002; Rondon *et al.*, 2007; Steiner *et al.*, 2008), meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Chan *et al.*, 2007), memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas penyimpanan air tanah dan menurunkan kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007), memegang air pada tanah bertekstur pasir (Sutono *et al.*, 2012). Steiner *et al.* (2008) dan Widowati *et al.* (2012) melaporkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan efisiensi pemupukan N, pemupukan NPK pada tanah *typic Dystrudepts* (Sudjana, 2014), meningkatkan retensi air dan kapasitas menyimpan air tanah (Santi dan Goenadi, 2012). Penggunaan biochar dapat meningkatkan retensi air dan hara sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik di lahan kering beriklim kering di NTT. Biochar ranting pohon legum dosis 10 t ha⁻¹ dapat meningkatkan pori aerasi dari 16,7% vol menjadi 23,23% - 28,23% vol, pori air tersedia tanah (sangat rendah) dari 2,73% menjadi 4,62% (sangat rendah) dan 5,45% vol (rendah) (Nurida *et al.*, 2009). Khususnya wilayah lahan kering berkapur Malang Selatan, Tambunan *et al.* (2014) menyebutkan biochar serasah jagung 20 t/ha ditambah serasah jagung 40 t/ha dapat meningkatkan P tersedia (242,95%) dan KTK (10,40%) tetapi aplikasi biochar serasah jagung 20 t/ha dapat menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%) pada tanaman jagung.

Sampai saat ini pemanfaatan lahan kering belum optimal terutama untuk lahan yang telah diusahakan apalagi untuk lahan yang belum dimanfaatkan. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering dengan menggunakan bahan organik. Bahan organik sebagai bahan pembenah tanah maupun sumber unsur hara memiliki sifat dan ciri yang berbeda, termasuk sifat stabil (biochar) dan labil (pupuk organik). Biochar adalah

produk dari dekomposisi termal biomassa yang dihasilkan oleh sebuah proses yang disebut pirolisis. Menurut Srinivasarao *et al.* (2013) konversi biomassa sisa tanaman menjadi biochar dan menggunakan char sebagai amandemen tanah adalah pendekatan baru dan disarankan sebagai alternatif untuk kompos dan pembakaran sisa tanaman. ²¹⁷ Gugus-gugus fungsional bahan organik mampu mengikat air karena agregasi tanah yang lebih baik dalam membentuk pori-pori. Asai *et al.* (2009) melaporkan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air dipori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan unsur hara lebih baik. Peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air bahan biochar (Ammu *et al.*, 2015). Porositas tinggi juga mengakibatkan KTK tinggi dari bahan biochar. Kenaikan luas permukaan memberikan adsorpsi yang lebih besar dan ruang untuk retensi air dan unsur hara (Lehmann *et al.*, 2003).

Perubahan dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Penelitian karakterisasi dari jenis biochar pada berbagai jenis tanah terbatas jumlahnya. Oleh karena itu diperlukan kajian karakteristik jenis biochar termasuk dampak dari karakteristik biochar dan ³ pupuk organik pada beberapa jenis tanah di lahan kering. Kombinasi bahan organik yang berbeda sifat akan bermanfaat untuk mengembangkan produk yang sesuai dengan jenis tanah sehingga dapat mengoptimalkan penggunaan lahan kering.

II. Lahan Kering

⁵² Menurut FAO (2008) lahan kering yang diklasifikasikan dengan *arid* (masa pertanaman 1-59 hari), *semi arid* (masa pertanaman 60-119 hari) dan *arid* basah (masa pertanaman 120-179 hari). Dengan demikian lahan kering adalah pertanian dengan masa pertanaman 1-179 hari dan tidak memiliki fasilitas pengairan. Sawah tadah hujan juga tidak termasuk dalam lahan kering. Menurut Satari (1977) lahan yang dalam keadaan alamiah, lapisan atas dan bawah tubuh tanah (*top soil* dan *sub soil*) sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada dibawah kapasitas lapang. Lahan kering adalah lahan yang hampir sepanjang tahun tidak tergenang secara permanen. Ahli tanah Indonesia memberikan batasan lahan kering adalah lahan dimana kebutuhan air tanaman tergantung sepenuhnya air hujan dan tidak pernah tergenang secara tetap. Berdasarkan ketersediaan air untuk lahan pertanian, maka lahan budidaya pertanian dibedakan menjadi lahan basah (sawah) dan lahan kering (ladang). Lahan basah atau sawah seringkali diterjemakan sebagai *wet land* atau *low land*, sedangkan lahan kering atau ladang diterjemakan sebagai *dry land* atau *up land*. Lahan kering sendiri diartikan sebagai sebidang lahan yang mempunyai keterbatasan sumber air sepanjang tahun dan tidak pernah dalam keadaan tergenang. Akibat keterbatasan air maka kandungan lengas tanah selalu berada di bawah kadar air kapasitas lapangan. Selain itu perbandingan jumlah curah hujan yang tidak dapat diimbangi dengan kebutuhan air untuk evaporasi dan transpirasi sepanjang tahun seringkali juga digunakan sebagai penjelasan istilah lahan kering.

¹⁶ Rehabilitasi lahan-lahan terdegradasi dapat mendukung optimalisasi lahan kering, antara lain dengan menanam legum penutup tanah atau tanaman penghasil bahan organik lainnya, khususnya yang bersifat insitu seperti *alley cropping* dan *strip cropping*. Penggunaan bahan pembenah tanah baik organik maupun mineral juga dapat merehabilitasi lahan terdegradasi. ⁵ Pengaturan pola tanam dengan mengusahakan permukaan lahan selalu tertutup oleh vegetasi dan/atau sisa-sisa tanaman juga berperan penting dalam konservasi tanah. Pengaturan proporsi tanaman semusim dan tahunan pada lahan kering juga penting; makin curam lereng sebaiknya makin tinggi proporsi tanaman tahunan. Pengaturan jalur penanaman atau bedengan yang searah kontur juga berkontribusi dalam mencegah erosi.

2.1. ⁵ Potensi Lahan Kering

Lahan kering merupakan salah satu agroekosistem yang mempunyai potensi besar untuk usaha pertanian, baik tanaman pangan, hortikultura (sayuran dan buah-buahan) maupun tanaman tahunan dan peternakan. Berdasarkan arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia skala 1 : 1.000.000 (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat 2001), Indonesia memiliki daratan sekitar 188,20 juta ha terdiri atas 148 juta ha lahan kering (78%) dan 40,20 juta ha lahan basah (22%). Namun tidak semua lahan kering sesuai untuk pertanian, terutama karena adanya faktor pembatas tanah seperti lereng yang sangat curam atau solum tanah dangkal dan berbatu, atau termasuk kawasan hutan. Dari total luas 148 juta ha, lahan kering yang sesuai untuk budidaya pertanian hanya sekitar 76,22 juta ha (52%), sebagian besar terdapat di dataran rendah (70,71 juta ha atau 93%) dan sisanya di dataran tinggi. Di wilayah dataran rendah, lahan datar bergelombang (lereng <15 %) yang sesuai untuk pertanian tanaman pangan mencakup 23,26 juta ha. Lahan dengan lereng 15-30 % lebih sesuai untuk tanaman tahunan (47,45 juta ha). Di dataran tinggi, lahan yang sesuai untuk tanaman pangan hanya sekitar 2,07 juta ha, dan untuk tanaman tahunan 3,44 juta ha.

³ Lahan pertanian Indonesia meliputi 70,20 juta ha, sekitar 61,53 juta ha diantaranya berupa lahan kering dengan produktivitas relatif rendah, jauh di bawah potensi hasil. Produktivitas padi gogo berkisar antara 2-3 t/ha, padahal potensinya dapat mencapai 4-5 t/ha. ³ Demikian juga komoditas lain, seperti kedelai, masih dapat ditingkatkan. Menurut Subandi (2007), peluang peningkatan produktivitas kedelai masih terbuka, karena hasil di tingkat petani (0,60-2 t/ha) masih jauh ³ lebih rendah dibandingkan dengan hasil di tingkat penelitian yang berkisar antara 1,70-3,20 t/ha. Selain meningkatkan produktivitas lahan kering yang sudah ada (*existing*), produksi bahan pangan dapat pula ditingkatkan melalui perluasan areal tanam pada lahan kering. Dari 76,22 juta ha lahan kering yang sesuai untuk pertanian, lahan yang telah digunakan (tegalan, perkebunan, kayu-kayuan dan pekarangan) ⁷⁵ baru mencapai 47,76 juta ha, sehingga masih tersedia 28,46 juta ha lahan untuk perluasan areal pertanian, termasuk lahan terlantar 13,77 juta ha.

Kondisi luas lahan pertanian ¹⁷ di Indonesia (lahan kering dan basah) di Indonesia 59,7 juta ha sedang di Jawa 9,6 juta ha. ¹⁷ Luas lahan kering di Indonesia 51,7 juta ha, sedang di Jawa 6,1 juta ha. Hal ini berarti lahan pertanian berupa lahan kering di Indonesia adalah 86,24 %, sedang lahan pertanian di Jawa berupa lahan kering 63,54%. Potensi lahan kering memiliki prospek yang baik dan menjadi tumpuan untuk penyediaan lahan di Indonesia. ⁷⁵ Dari luas total lahan kering Indonesia sekitar 148 juta ha, 102,80 juta ha (69,46%) merupakan

tanah masam. Tanah tersebut didominasi oleh Inceptisol, Ultisol dan Oxisol, dan sebagian besar terdapat di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Lahan kering masam di wilayah berbukit dan bergunung cukup luas, mencapai 53,50 juta ha atau 52% dari total tanah masam di Indonesia. Tanah masam dicirikan oleh pH rendah ($<5,50$), kadar Al tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan basa-basa dapat ditukar dan KTK rendah, kandungan besi dan mangan mendekati batas meracuni tanaman, peka erosi, dan miskin unsur biotik.

Di Indonesia, lahan kering sebagian besar terdapat di wilayah bergunung ($> 30\%$) dan berbukit ($15-30\%$), dengan luas masing-masing 51,30 juta ha dan 36,90 juta ha (Hidayat dan Mulyani, 2002). Lahan kering berlereng curam sangat peka terhadap erosi, terutama bila diusahakan untuk tanaman pangan semusim dan curah hujannya tinggi. Lahan semacam ini lebih sesuai untuk tanaman tahunan, namun kenyataannya banyak dimanfaatkan untuk tanaman pangan, sedangkan perkebunan banyak diusahakan pada lahan datar bergelombang dengan lereng $< 15\%$. Lahan kering yang telah dimanfaatkan untuk perkebunan mencakup 19,60 juta ha (Badan Pusat Statistik, 2005), terutama untuk tanaman kelapa sawit, kelapa dan karet.

Kabupaten Malang sebagian bagian kecil dari wilayah Jawa Timur di Indonesia, penataan dan penggunaan wilayah dikembangkan melalui perencanaan dengan ditetapkan melalui Peraturan Daerah tentang RTRW (Rencana Tata Ruang dan Wilayah) PP. No.41/2010. Wilayah Kabupaten Malang dikelompokkan menjadi kawasan pertanian sawah, kawasan tegalan (tanah ladang), kawasan pengelolaan lahan kering, kawasan perkebunan, kawasan hortikultura, kawasan peternakan dan kawasan perikanan. Kawasan tegalan (tanah ladang) pengusahaan pertanian mengandalkan air hujan (tadah hujan) seluas 113.582,12 ha atau 32,73% dari luas daerah Kabupaten Malang. Upaya pengelolaan kawasan tegalan meliputi (a) kawasan pertanian lahan kering secara fisik dikembangkan tanaman tahunan dengan dukungan pola tanam tumpangsari palawija dengan hortikultura, (b) pengembangan perkebunan skala kecil, dan (c) dukungan pengembangan ekonomi memungkinkan alih fungsi lahan menjadi area terbangun. Lebih lanjut kawasan pengelolaan lahan kering diarahkan melalui (a) pengembangan palawija dan hortikultura dengan mengutamakan komoditas tanaman yang bernilai ekonomi tinggi dan adaptasi lingkungan dan (b) kawasan ini guna mendukung pengembangan ekonomi pedesaan sehingga alih fungsi lahan pada beberapa area mempunyai nilai tambah pada perkembangan ekonomi pedesaan.

Kabupaten Malang terluas ketiga di Pulau Jawa setelah Kabupaten Banyuwangi dan Kabupaten Sukabumi di Provinsi Jawa Barat. Menurut Dinas Pertanian dan Perkebunan, sebagian besar wilayah Kabupaten Malang merupakan lahan pertanian, yaitu sekitar 15,44%

(49.52ha) merupakan lahan sawah; 31,11% (99.76 ha) adalah tegal/ladang/kebun; 6,11% (19.58 ha) adalah areal perkebunan; dan 2,56% (6.40 ha) adalah hutan. Kondisi lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan terdiri atas beberapa jenis tanah, diantaranya Litosol, Entisol, dan Alfisol yang secara alamiah mempunyai produktivitas yang rendah. Lahan kering di Kabupaten Malang sangat potensial dikembangkan untuk pertanian. Wilayah Kecamatan Poncokusumo, Donomulyo, dan Kalipare memiliki sifat dan ciri tanah yang berbeda. Secara geografis, Desa Purwodadi (Kecamatan Donomulyo) terletak di dataran tinggi dengan jenis Litosol. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30cm), tergolong tanah muda yang miskin unsure hara, bukan termasuk tanah yang subur dan tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah lainnya. Lahan mengalami kesulitan air di musim kemarau sehingga dibiarkan kosong untuk ditumbuhi rerumputan. Wilayah Kalipare (tanah Alfisol) terletak di lereng gunung Kendeng dengan areal pertanian yang tidak mampu dijangkau oleh pengairan sistem irigasi sehingga mengakibatkan pertanian lahan kering/tadah hujan, tanahnya dengan komposisi liat tinggi dan sangat keras sehingga tidak ada tanaman yang bisa tumbuh. Jenis tanah Entisol (Kecamatan Poncokusumo) termasuk tanah muda yang tanpa perkembangan profil. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsure hara tinggi.

Tanah tersusun dari mineral dan bahan organik yang berperan penting dalam menyediakan air dan unsur hara bagi keberlangsungan pertumbuhan tanaman. Bahan induk tanah akan mempengaruhi bahan organik dan atau mineral tanah. Litosol tergolong tanah muda yang berasal dari batuan beku atau sedimen yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna dan belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal. Litosol bukan merupakan tanah yang subur sehingga tidak banyak tanaman yang bisa ditanam. Entisol masih sangat muda dan baru tingkat permulaan dalam perkembangan, berasal dari bahan induk material vulkanik dan memiliki butir kasar. Umur tanah yang masih muda menjadikan miskin bahan organik sehingga tanah tidak dapat menyimpan air dan mineral yang dibutuhkan tanaman dan kurang menguntungkan bagi sebagian tumbuhan. Alfisol merupakan tanah hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen, mampu menyediakan dan menampung air yang banyak, bersifat asam, dan bahan induknya terdiri atas kapur sehingga permeabilitasnya lambat. Tanah ini berwarna

kecoklatan, keras dan tidak subur.

Beberapa lahan berasal dari bahan induk yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna, bahkan ada lahan yang tidak digunakan untuk pertanian karena hampir semua jenis tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik, ada pula yang ditanami sayuran yang pertumbuhannya kurang baik.²⁹ Menurut Dinas Pertanian dan Perkebunan, sebagian besar wilayah Kabupaten Malang merupakan lahan pertanian, yaitu sekitar 15,44% (49.52 ha) merupakan lahan sawah; 31,11% (99.76 ha) adalah tegal/ladang/kebun; 6,11% (19.58 ha) adalah areal perkebunan; dan 2,56% (6.40 ha) adalah hutan. Lahan kering sangat potensial dikembangkan dan perlu dioptimalkan karena terbatasnya lahan pertanian subur dan sebagian besar adalah lahan sub optimal.⁶² Lahan sub optimal yang paling luas ialah lahan kering yaitu 122,1 juta ha yang terdiri atas lahan kering masam 108,8 juta ha dan lahan kering iklim kering 13,3 juta ha (Mulyani dan Sarwani, 2013).

Setiap jenis tanah yang memiliki karakteristik sifat yang berbeda tentu akan berbeda dalam menanggapi suatu masukan bahan organik. Bahan baku dan kondisi produksi biochar dapat mempengaruhi kualitas biochar maupun dampaknya pada perubahan sifat-sifat tanah. Demikian pula jenis pupuk organik yang digunakan dapat mempengaruhi kualitas pupuk itu sendiri maupun pengaruhnya ketika diaplikasikan di dalam tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda.

2.2. Kendala Lahan Kering

Lahan kering banyak menghadapi kendala, diantaranya adalah ketersediaan air, kemasaman tanah dan rendahnya²⁴ kandungan bahan organik tanah. Hal ini menyebabkan kemampuan tanah dalam menyimpan air dan ketersediaan unsur hara menjadi rendah, ketidakseimbangan ruang pori tanah dalam mengisi air dan oksigen, dan bahkan tanah menjadi keras pada saat kering dan lunak pada saat basah. Akibat lebih lanjut adalah ketidakmampuan tanaman untuk tumbuh secara normal dan akan mengganggu hasil tanaman.

Lahan kering menghadapi kendala internal di dalam tanah maupun lingkungan eksternal. Kendala internal berhubungan dengan⁸² bahan induk tanah sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan dan perkembangan tanah, yang lebih lanjut akan mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. Faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas tanaman rendah karena keterbatasan air.³ Keterbatasan air pada lahan kering mengakibatkan usahatani tidak dapat dilakukan sepanjang tahun, dengan indeks pertanaman

(IP) kurang dari 1,50. Penyebabnya antara lain adalah distribusi dan pola hujan yang fluktuatif, baik secara spasial maupun temporal. Wilayah Barat lebih basah dibandingkan dengan wilayah Timur dan secara temporal terdapat perbedaan distribusi hujan pada musim hujan dan kemarau. Pada beberapa wilayah di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi, curah hujan melebihi 2.000 mm/tahun, sehingga IP dapat ditingkatkan menjadi 2-2,50 (Las *et al.*, 2000).

Pada umumnya lahan kering memiliki tingkat kesuburan tanah yang rendah, terutama pada tanah-tanah yang tererosi, sehingga lapisan olah dan kadar bahan organik rendah. Kondisi ini makin diperburuk dengan terbatasnya penggunaan pupuk organik, terutama pada tanaman pangan semusim. Di samping itu, secara alami kadar bahan organik tanah di daerah tropis cepat menurun akibat intensitas radiasi dan temperatur yang tinggi.

Erosi bukan hanya mengangkut material tanah, tetapi juga hara dan bahan organik, baik yang terkandung di dalam tanah maupun yang berupa *input* pertanian. Erosi juga merusak sifat fisik tanah. Oleh karena itu, penerapan teknik konservasi merupakan salah satu prasyarat keberlanjutan usaha tani pada lahan kering. Target yang harus dicapai adalah menekan erosi sampai di bawah batas toleransi dengan kisaran antara 1,10-13,50 t/ha/tahun, bergantung pada sifat tanah dan substratnya. Untuk menekan erosi sampai di bawah ambang batas toleransinya, beberapa jenis teknik konservasi dapat diterapkan dengan memperhatikan persyaratan teknis. Teras bangku merupakan teknik konservasi yang banyak diterapkan di Jawa dan Bali. Teknik ini telah dikembangkan secara luas sejak tahun 1975 melalui inpres penghijauan.

Pengolahan tanah secara intensif merupakan penyebab penurunan produktivitas lahan kering. Hasil penelitian menunjukkan pengolahan tanah yang berlebihan dapat merusak struktur tanah dan menyebabkan kehancuran bahan organik tanah. Beberapa masalah yang mempengaruhi kesuburan tanah di lahan kering adalah kemasaman tanah, ketersediaan air dan unsur hara rendah, kondisi fisik tanah yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman, dan ketidakseimbangan di antara air dan udara. Ketidakseimbangan akan menjadi faktor pembatas yang dapat mengganggu keadaan optimumnya sehingga kurang menunjang produktivitas tanaman. Kemampuan tanah untuk menahan air dan unsur hara menjadi keutamaan dalam meningkatkan hasil tanaman. Menurut Haryono (2013), optimalisasi lahan sub optimal meliputi produktivitas, efisiensi produksi, kelestarian sumberdaya dan lingkungan serta kesejahteraan petani melalui intensifikasi dan ekstensifikasi lahan sub optimal yang terdegradasi atau terlantar.

III. Jenis Tanah

Pada umumnya luas wilayah di Kabupaten Malang sebagian besar adalah bertekstur sedang 248.142,51 ha atau 74,12 % dari luas wilayah. Tanah dengan tekstur halus mempunyai luas wilayah sebesar 82.944,49 ha atau 24,79% sedangkan tanah dengan tekstur kasar mempunyai luas sebesar 3.650,00 ha atau 1,09% dari seluruh luas wilayah Kabupaten Malang. Jenis tanah yang ada di Kabupaten Malang terdiri dari jenis tanah Andosol, Latosol, Alfisol, Litosol, Alluvial, dan Entisol. Penyebaran jenis tanah ini tidak seluruhnya tersebar di kecamatan-kecamatan yang ada di Kabupaten Malang.

3.1. Litosol

Setiap jenis tanah memiliki sifat dan ciri yang berbeda, seperti luas permukaan partikel tanah yang sangat mempengaruhi kapasitas memegang air dan unsur hara. Litosol Dalam USDA, Litosol termasuk dalam ordo Entisol, sama dengan tanah Entisol. Jenis tanah yang berbatu-batu dengan lapisan tanah yang tidak terlalu tebal. Litosol merupakan tanah muda yang berasal dari pelapukan batuan yang keras dan besar serta miskin unsur hara sehingga bukan tanah yang subur dan tidak banyak tanaman yang bisa ditanam pada tanah Litosol.

Proses terbentuknya tanah Litosol dari pelapukan batuan beku dan sedimen yang masih baru (belum sempurna) sehingga butiran besar/kasar. Jenis tanah ini juga disebut tanah azonal. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah < 50 cm) bahkan kadang-kadang merupakan singkapan batuan induk (outerop). Tekstur tanah beranekaragam, dan pada umumnya berpasir, umumnya tidak berstruktur, terdapat kandungan batu, kerikil dan kesuburannya bervariasi. Tanah Litosol dapat dijumpai pada segala iklim, umumnya di topografi berbukit, pegunungan, lereng miring sampai curam.

Pemanfaatan tanah Litosol di Indonesia masih kurang maksimal. Tanah Litosol tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah yang lainnya. Bahkan ada di daerah tertentu yang menjadikan tanah Litosol ini hanya untuk lahan kosong yang dibiarkan untuk ditumbuhi rerumputan. Selain itu tanah Litosol memiliki karakteristik belum terbentuk akibat pelapukan, mempunyai penampang yang besar, berbentuk kerikil, pasir, dan bebatuan kecil, mengalami perubahan struktur atau profil dari batuan asal, mempunyai kandungan

unsur hara rendah, terbentuk dari proses meletusnya gunung berapi, memiliki tekstur tanah yang bervariasi, memiliki kesuburan tanah yang bervariasi. Untuk mengembangkan tanah ini harus dilakukan dengan cara menanam pohon supaya mendapatkan mineral dan unsur hara yang cukup. Tekstur tanah Litosol bermacam-macam ada yang lembut, bebatuan bahkan berpasir (Ilmu Geografi.com, 2016).

Di sebagian daerah, tanah Litosol hanya digunakan sebagai lahan menanam rumput saja. Hal ini karena rumput-rumputan merupakan tumbuhan yang mampu bertahan hidup pada tanah yang kurang subur. Tanaman yang dapat tumbuh di tanah Litosol adalah rumput ternak, palawija, dan tanaman keras. Jenis tanah ini banyak ditemukan di lereng gunung dan pegunungan di seluruh Indonesia yang mengalami proses erosi parah. Litosol terdapat di wilayah yang tersusun dari batuan kuarsit, konglomerat, granit, dan batu lapis. Jenis tanah ini juga dapat dijumpai di daerah sekitar pantai.

3.2. Mediteran

Tanah Mediteran termasuk ordo Alfisol merupakan hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen. Disebut juga dengan tanah kapur karena terbentuk dari bebatuan kapur yang telah lapuk dan hancur yang memiliki unsur hara dalam jumlah yang sedikit sehingga tanah jenis ini tidak subur dan sangat mudah dilalui air. Tanah ini hanya berkontribusi sedikit dalam bidang pertanian, mengandung kalsium dan magnesium yang tinggi.

Tanah Alfisol banyak terdapat di bawah tanaman hutan dengan karakteristik tanah, meliputi: akumulasi lempung pada horizon Bt, horizon E yang tipis, mampu menyediakan dan menampung banyak air, dan bersifat asam. Tanah Alfisol mempunyai tekstur lempung dan bahan induknya terdiri atas kapur sehingga permeabilitasnya lambat. Tanah-tanah yang terdapat penimbunan liat di horizon bawah (terdapat horizon argilik) dan mempunyai kejenuhan basa tinggi yaitu lebih dari 35% pada kedalaman 180 cm dari permukaan tanah. Liat yang tertimbun di horizon bawah ini berasal dari horizon di atasnya dan tercuci kebawah bersama dengan gerakan air.

Tanah Alfisol yang berbatuan induk batu kapur mempunyai nilai pH yang lebih tinggi dibanding dari yang berbatuan induk batu pasir. pH tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bahan induk tanah, pengendapan, vegetasi alami, pertumbuhan tanaman, kedalaman tanah dan pupuk nitrogen. Masalah utama dari jenis tanah Alfisol adalah ketersediaan air dan tingginya pH tanah yang seringkali di atas 7. Tanah yang bersifat alkalis mengikat fosfat sehingga akan menjadi kendala bagi tanaman untuk tumbuh.

Tanah Alfisol memiliki kandungan karbonat yang cukup besar sehingga tanah ini bisa berwarna merah kekuningan maupun abu-abu. Selain karbonat juga ada mengandung besi, air, aluminium, dan beberapa bahan organik lain yang membuat tanah menjadi agak subur. Biasanya tanah Alfisol digunakan untuk lahan pertanian khususnya menanam padi sawah.

Sifat fisik tanah Alfisol merah kuning memiliki tekstur tanah bervariasi mulai dari geluh hingga lempung. Struktur ini beraneka ragam ukurannya ada yang kecil ada juga yang besar tergantung bahan organik pengikatnya. Konsistensi tanah Alfisol merah kuning ini bervariasi mulai dari gembur hingga teguh. Hal ini merupakan konsistensi pada tanah lembab, pada umumnya konsistensi lembab ini terjadi pada tanah yang relatif lapang.

3.3. Regosol

Regosol termasuk ordo Entisol merupakan tanah yang masih sangat muda yaitu baru tingkat permulaan dalam perkembangan. Tanah belum mengalami perkembangan yang sempurna dan hanya memiliki horizon A yang marginal. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Iklim yang sangat ekstrim basah atau kering, sehingga perombakan bahan induk terhambat. Adanya faktor erosi yang selalu menggerus epipedon, sehingga tidak pernah terbentuk horizon iluviasi. Terbentuk dibawah pengaruh iklim kering dengan bahan induk didominasi mineral kuarsa yang sangat resisten terhadap pelapukan. Reaksi-reaksi kimia dalam tanah berlangsung sangat lambat dan cenderung miskin hara. Umur tanah masih muda dengan bahan organik yang rendah sehingga tidak dapat menampung air dan mineral yang mendukung pertumbuhan tanaman. Selain itu Entisol merupakan salah satu jenis tanah marginal di daerah beriklim tropika basah yang mempunyai produktivitas rendah tetapi masih dapat dikelola dan digunakan untuk usaha pertanian. Tanah Entisol memiliki ciri-ciri: berbutir kasar, berwarna kelabu sampai kuning.

Tanah Entisol sangat cocok untuk pertanian khususnya tanaman padi, kelapa, tebu, palawija, tembakau, dan sayuran. Hal inilah yang menyebabkan tanah di lereng gunung berapi yang baru saja mengalami erupsi sangat subur dan sangat baik untuk pertanian. Tanah Entisol terjadi akibat adanya erupsi gunung berapi yang terjadi bertahun-tahun sebelumnya. Tanah Entisol memiliki tekstur tanah biasanya kasar, struktur lemah, konsentrasi lepas sampai gembur dan pH 6-7. Umumnya jenis tanah ini belum membentuk agregat sehingga

peka terhadap erosi, cukup mengandung unsur P dan K dan belum tersedia untuk diserap tanaman dan kandungan N rendah. Kendala utama pada Entisol adalah keterbatasan air karena tekstur tanah dan rendahnya bahan organik tanah sehingga menyebabkan daya simpan tanah terhadap air menjadi rendah dan kesuburan tanah juga rendah.

Karakteristik setiap jenis tanah yang digunakan pada kajian ini ditunjukkan pada Tabel 1. Tanah Entisol bertekstur pasir berlempung yang memiliki karbon organik yang sangat rendah dengan fraksi pasir 86%. Tanah Litosol dan Alfisol bertekstur liat, masing-masing 65% dan 76%. Karbon organik tanah rendah (Litosol) dan sangat rendah (Alfisol). Semua tanah memiliki C/N yang rendah dan pH masam (Alfisol dan Entisol) sampai agak masam (Litosol).

Tabel 1. Karakteristik tanah sebelum pemberian biochar dan pupuk organik (kondisi awal)

Parameter	Litosol	Alfisol	Entisol
pH H ₂ O	6,40	5,30	5,70
pH KCl 1N	6,10	5,00	5,30
C organik (%)	1,36	0,72	0,48
N total (%)	0,17	0,10	0,07
C/N	8	7	7
P.Braysl (mg kg ⁻¹)	45,65	45,65	106,52
K (me/100g)	0,35	0,34	0,36
Na (me/100g)	0,37	0,37	0,31
Ca (me/100g)	25,83	12,44	5,14
Mg (me/100g)	1,42	4,73	0,79
KTK (me/100g)	32,68	30,43	12,40
Jumlah basa (me/100g)	27,97	17,88	6,6
KB (%)	86	59	53
Pasir (%)	11	9	86
Debu (%)	24	15	3
Liat (%)	65	76	11
Tekstur	liat	liat	Pasir berlempung

IV. Biomasa Sebagai Bahan Baku Biochar

Biochar adalah zat halus dan keropos, sangat mirip dengan arang yang diproduksi oleh pembakaran alam. Istilah biochar mengacu pada karbon hitam yang dibentuk oleh pirolisis yaitu pemanasan biomassa dalam suatu lingkungan bebas oksigen. Karbon hitam dihasilkan dari bahan baku biomassa. Biomassa adalah semua bahan organik terbarukan, apakah dia tumbuh pada media tanah atau pada media air, termasuk produksi ternak dan kotorannya, produksi dan limbah industri pangan, hasil samping dan limbah industri hutan, dan sampah kota (Stout, 1984). Biochar adalah produk padat pirolisis, kaya karbon, hasil konversi biomassa secara termokimia di dalam wadah tanpa oksigen atau suplai oksigen terbatas.

Hampir setiap bahan organik dapat dikonversi menjadi biochar. Karakter masing-masing bahan organik akan memiliki pengaruh pada sifat fisik, kimia, dan biologi tanah setelah dimasukkan kedalam tanah. Bahan organik memiliki peran penting dalam memperbaiki sifat kimia, fisik dan biologi tanah. Meskipun kontribusi unsur hara dari bahan organik tanah relatif rendah namun peranannya cukup penting karena selain unsur N, P, K, bahan organik juga merupakan sumber unsur esensial lain seperti C, Zn, Cu, Mo, Ca, Mg, dan Si.

Bahan baku dan proses pirolisis menentukan jumlah dan distribusi bahan mineral pada biochar (Amonette dan Joseph, 2009). Bahan yang berasal dari kayu umumnya memiliki kadar abu rendah (<1% berat), sedangkan rumput, jerami, dan biji-bijian (sekam) memiliki kandungan silika yang tinggi mencapai 24% (Raveendran *et al.*, 1995). Sebagian besar kandungan mineral dalam bahan baku tersebut masih ada dalam biochar dan sebagian lagi hilang (C, H, dan O) selama pirolisis. Biochar dari pupuk organik dan limbah biasanya memiliki kandungan abu yang sangat tinggi. Biochar pukan (pupuk kandang) ayam dapat memiliki kandungan 45% abu dari bahan baku (Koutcheiko *et al.*, 2007), sedangkan biochar tulang dapat mengandung mineral mencapai 84% dari bahan baku (Purevsuren *et al.*, 2004). Jenis bahan baku dan kondisi pirolisis mempengaruhi karakteristik fisika-kimia biochar. Karena berbagai pilihan biomassa dan sistem pirolisis tersedia, maka variabilitas dalam biochar yang dapat diproduksi tinggi. Variabilitas ini memiliki implikasi pada kandungan dan ketersediaan hara biochar dan unsur hara untuk tanaman saat biochar diterapkan pada tanah (Downie *et al.*, 2009). Biochar diproduksi dari berbagai biomassa dan umumnya bisa digunakan untuk perbaikan tanah. Kondisi proses yang digunakan dalam studi di berbagai

literatur sering menyulitkan jika ingin membandingkan hasil mengenai efek sifat bahan baku dari karakteristik biochar. Demikian pula efektivitas penggunaan biochar dapat bervariasi, dan sumber biomassa yang digunakan dapat mempengaruhi karakterisasi biochar. Hasil-hasil penelitian telah menunjukkan perbedaan karakteristik biochar dari bahan baku dan kondisi produksi, seperti yang telah dilaporkan oleh Widowati *et al.* (2011, 2014, 2017); Peng *et al.* (2011); Ammu *et al.* (2015).

Setelah penambahan biochar ketanah akan terlihat karakteristik biochar dapat menyebabkan variasi dalam mempengaruhi proses di dalam tanah dan pertumbuhan tanaman. Variasi dalam karakteristik biochar memerlukan kajian lebih lanjut tentang dampak dari karakteristik biochar maupun pupuk organik pada sifat-sifat tanah. Windeatt *et al.* (2014) menyebutkan sifat agronomi penting dari biochar bila digunakan dalam amandemen tanah meliputi porositas, pH, kapasitas air memegang, kandungan hara dan kapasitas tukar kation. Menurut Enders *et al.* (2012), biochar memiliki kandungan yang mudah menguap yang rendah dan karbon yang tinggi bila dibandingkan dengan biomassa berbagai bahan baku. Purakayastha *et al.* (2013) menemukan bahwa kapasitas memegang air dari biochar gandum tertinggi (561%), diikuti oleh biochar jagung (456%). KTK bervariasi dari bahan baku yang berbeda, mulai 4,5-40 cmol/kg (Uzoma *et al.*, 2011). Metode produksi tidak menyebabkan variasi yang signifikan dalam kandungan P tetapi bahan baku menghasilkan variasi P dalam biochar yang dihasilkan (Ammu *et al.*, 2015). Bahan baku biochar dan kondisi produksi dapat mempengaruhi kualitas biochar. Sifat heterogen jenis biochar menyebabkan penilaian kualitas biochar berbeda ketika diterapkan pada berbagai kondisi tanah, khususnya di lahan kering Kabupaten Malang. Oleh karena itu dipandang perlu untuk menilai sifat tanah dari aplikasi jenis biochar dan pupuk organik pada pertanaman jagung di berbagai jenis tanah di lahan kering di Kabupaten Malang Selatan.

Setiap jenis biochar memiliki sifat-sifat yang berbeda berdasarkan kondisi produksi dan bahan baku yang digunakan. Naeem *et al.* (2014), melaporkan variasi suhu pirolitik dan bahan baku akan mempengaruhi hasil dan komposisi hara biochar. Biochar sangat bervariasi dalam komposisi unsur hara dan ketersediaannya tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis. Pemilihan bahan baku awal sangat mempengaruhi produk akhir. Bahan baku seperti kotoran unggas akan menghasilkan biochar dengan peningkatan unsur hara yang tersedia. Perbandingan antara sampah unggas, sekam kacang dan serpihan pinus menunjukkan kecenderungan yang sama (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan ketersediaan unsur hara antara biochar limbah kotoran sapi dan biosolid. P tersedia meningkat dengan biochar kotoran sapi karena P lebih mudah larut daripada senyawa Ca

dan Mg. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi N dan P yang berasal dari biochar lumpur air limbah serta unsur hara mikro dan makro lainnya, juga menjadi alasan utama untuk penurunan unsur hara yang tersedia. Ketersediaan P mungkin berbanding terbalik dengan suhu pirolisis (Zheng *et al.*, 2013). Namun, penelitian lain (Chan *et al.*, 2007, 2008; Gaskin *et al.*, 2008; Qayyum *et al.*, 2012) menunjukkan bahwa kedua bahan baku dan suhu pirolisis memiliki pengaruh pada unsur hara yang tersedia di biochar, dengan kandungan unsur hara umumnya meningkat dengan semakin meningkatnya suhu (Gaskin *et al.*, 2008).

Meskipun konsentrasi hara dalam bahan baku tidak dapat digunakan untuk memprediksi kuantitatif kandungan hara biochar dalam bentuk total atau tersedia, jenis bahan baku yang digunakan selama pirolisis memiliki pengaruh yang kuat pada karakteristik biochar (misalnya Gaskin *et al.*, 2008; Cantrell *et al.*, 2012; Kloss *et al.*, 2012). Gaskin *et al.* (2008), menunjukkan bahwa jumlah N total dari bahan baku ke biochar berkisar antara 27,4-89,6% pada masing-masing biochar kotoran unggas dan chip pinus. Selanjutnya kisaran total P, K, Ca dan Mg bervariasi dari 60-100% dengan kisaran tersedia dari sekitar 10-80% tergantung pada sumber bahan baku (Gaskin *et al.*, 2008).

Pentingnya sumber bahan baku untuk menentukan unsur hara dalam biochar. Dalam karakter bio nabati, kandungan C rendah karena konsentrasi yang lebih tinggi dari mineral lainnya dalam bahan baku (misalnya, mineral silika). Namun, biochar berbasis tanaman sering memiliki kandungan unsur hara yang relatif rendah (Cantrell *et al.*, 2012) dibandingkan dengan biochar berbasis kotoran hewan. Hal ini terutama berlaku untuk kandungan N total sebagai kandungan N awal bahan baku biasanya lebih rendah dari pupuk; konsentrasi N di biochar yang banyak seperti dalam pupuk disebabkan kandungan protein yang tinggi dalam bahan baku. Bersamaan dengan hal itu, biochar nabati cenderung bertindak sebagai sumber langsung dari unsur hara (Cantrell *et al.*, 2012). Di sisi lain, biochar pupuk kandang mungkin lebih cocok untuk memasok unsur hara setelah aplikasi ke dalam tanah.

Potensi bahwa semua biochar bertindak sebagai kondisioner tanah untuk meningkatkan C organik tanah dan kandungan bahan organik, atau untuk meningkatkan sifat fisik tanah seperti kapasitas memegang air. Namun, tidak semua biochar akan memasok unsur hara tanaman dalam jumlah yang relevan. Misalnya, biochar kayu lunak mengandung (rata-rata) 200 mg kg⁻¹ P tersedia. Mengingat analisis P tanah untuk jagung dengan irigasi di South Carolina (AS) memanfaatkan pertanian biochar dari air limbah *sludge* menunjukkan bahwa 67 kg P₂O₅ ha dibandingkan dengan bahan baku biochar yang banyak digunakan lingoselulosa atau pupuk kandang, biochar berbasis alga cenderung C relatif lebih rendah,

tapi sering N, P dan unsur hara lainnya tinggi. Oleh karena itu, tidak menganggap semua biochar mampu memasok unsur hara tersedia untuk tanaman awal.

Tanggapan positif dari aplikasi biochar tidak hanya berhubungan dengan unsur hara tanaman termasuk netralisasi toksin (Wardle *et al.*, 1998); memperbaiki sifat fisik tanah (misalnya peningkatan kapasitas menahan air) (Iswaran *et al.*, 1980) atau mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Kapasitas menahan air dari biochar maupun pupuk organik tergantung dari bahan baku biomasa. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010), menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Bulk density biochar sekam padi, tongkol jagung, dan jengkok tembakau masing-masing 0,65; 0,27; dan 0,31 g cm⁻³. Menurut Ammu and Anitha (2015), karakter biochar seperti bobot isi rendah, porositas dan kapasitas pegang air tinggi membuat biochar cocok untuk pengelolaan hara dan air. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki *bulk density* jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis (~0,3 Mg m⁻³ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah 1,3 Mg m⁻³) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi *bulk density* tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman.

4.1. Sifat Bahan Baku

Biochar merupakan teknologi kuno yang muncul kembali dan dipandang sesuai untuk solusi pada kondisi perubahan iklim. Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik/biomassa dengan bahan baku yang tersedia melimpah, mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Biochar memiliki dampak pada ketersediaan hara dalam tanah, baik sebagai unsur hara dan retensi hara. Abu di biochar berisi hara tanaman, sebagian besar bersifat basis seperti Ca, Mg dan K tetapi juga P dan mikronutrien termasuk seng, mangan.

Komposisi dan ketersediaan hara biochar tergantung pada sifat bahan baku dan kondisi pirolisis di mana biochar diproduksi. Selain biomassa tanaman, berbagai bahan organik termasuk limbah material seperti kotoran unggas dan lumpur limbah dapat dikonversi ke biochar menggunakan pirolisis. *Pyrolysis* adalah degradasi biomassa dengan panas dalam ketiadaan oksigen, yang menghasilkan produksi padat (biochar), produk cair dan gas. Pirolisis selulosa pada <300°C melibatkan pengurangan berat molekul

(dekarboksilasi), air, karbon dioksida (CO) dan carbon monoksida (CO), serta untuk biochar dapat memiliki hara yang sangat berbeda isi dan ketersediaan.

Untuk bahan baku yang sama, hasil biochar sangat tergantung pada kondisi di mana pirolisis dilakukan, yaitu suhu, kecepatan pemanasan, waktu pemanasan dan ukuran partikel (Shafizadeh, 1982; Demirbas dan Arin, 2002). Sementara itu dilaporkan bahwa hasil biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Perubahan yang kompleks dan berbagai biomassa selama pirolisis mempengaruhi baik komposisi dan struktur kimia biochar. Dengan implikasi pada kandungan hara dan khususnya ketersediaan hara bagi tanaman. Perubahan dalam komposisi biochar selama pirolisis bahan organik menggunakan teknik molekuler menunjukkan penurunan bertahap dalam jumlah OH dan CH₃ dan peningkatan C = C dengan meningkatnya suhu (150 – 550 °C), perubahan dari struktur C alifatik ke aromatik. Rasio H/C dan O/C biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Biochar mengandung materi abu yang dihasilkan pada suhu rendah dan juga memiliki konsentrasi yang jauh lebih besar daripada biochar pada suhu tinggi. Konversi C alifatik ke aromatik selama pirolisis menyebabkan penurunan tingkat mineralisasi C. Pengurangan mineralisasi C organik juga menunjukkan penurunan ketersediaan unsur hara dalam biochar yang terikat dalam struktur organik, seperti N, P dan S.

Porositas biochar secara signifikan meningkat antara 400-600 °C dan dapat dikaitkan dengan kenaikan molekul air oleh *dehydroxylasi* bertindak sebagai pori dan aktivasi agen, sehingga menciptakan pori-pori yang sangat kecil (ukuran nanometer) di biochar (Bagreev *et al.*, 2001). Oleh karena itu, perbedaan dalam perubahan struktural sebagai fungsi suhu memiliki konsekuensi penting dalam hal luas permukaan dan karakteristik biochar yang diproduksi di bawah kondisi yang berbeda. Perubahan ini, pada gilirannya, memiliki efek penting tidak langsung pada nilai hara biochar, misalnya, kemampuan retensi kation dan anion hara dari biochar tergantung pada kapasitas tukar kation dan kapasitas tukar anion.

Kapasitas tukar kation terbukti sangat rendah pada suhu rendah dan pirolisis meningkat secara signifikan pada suhu tinggi (Lehmann, 2007), yang perlu diuji lebih lanjut, biochar yang baru diproduksi telah terbukti kapasitas tukar kation rendah dibandingkan dengan bahan organik tanah (Cheng *et al.*, 2006, 2008, Lehmann, 2007). Di sisi lain, Kapasitas tukar anion baru diproduksi biochar signifikan pada pH rendah dan biochar memiliki titik tinggi muatan nol bersih (Cheng *et al.*, 2008).

4.1.1. Nitrogen

Lang *et al.* (2005), memantau perubahan kandungan C, H, O, S dan N dari berbagai bahan organik, yaitu empat biomassa kayu, empat biomassa herba dan dua batubara di bawah pirolisis pada 275-1100°C. Semua jenis biomassa kehilangan setidaknya setengah dari N sebagai volatil dengan 400°C. Selama pirolisis limbah lumpur, kandungan N total menurun dari 3,8% pada 400°C dengan 0,94% pada 950°C karena kehilangan bahan organik yang mudah menguap (Bagreev *et al.*, 2001). Demikian pula Shinogi (2004), melaporkan reduksi N total di biochar dari lumpur limbah dari 5,0% pada 400°C menjadi 2,3% pada 800°C.

Studi dengan tanah pada 25°C dan kapasitas lapangan menunjukkan bahwa jumlah N mineral yang terdeteksi diabaikan bahkan setelah 56 hari. Hal ini menunjukkan bahwa N dalam lumpur limbah biochar adalah dalam bentuk yang sangat tahan terhadap dekomposisi dan mineralisasi.

4.1.2. Kation basa

Yu *et al.* (2005), mempelajari bentuk kimia dan pelepasan K dan Na selama pirolisis jerami padi antara 400°C dan 1373°C. Antara 473°C dan 673°C, sekitar setengah dari kandungan logam total (masing-masing 48% dan 55% untuk K dan Na) hilang oleh pengupuan, dan pada pemanasan lebih lanjut untuk 1373°C, kehilangan lebih lambat dan berjumlah ~ 70%. Sekitar 90% dari total K dalam jerami padi dalam bentuk yang larut dalam air dan karena itu tersedia bagi tanaman sebelum pirolisis: itu adalah bentuk K yang hilang ketika panas hingga 673°C. Dengan meningkatnya suhu (> 600°C), proporsi yang lebih besar dari K yang tersisa ditemukan dalam bentuk diekstrak tukar dan asam. Biochar dari pinus dan rumput yang diproduksi pada 625°C mengandung 15-20% O, dan menggunakan energi dispersif X-ray spektroskopi (EDS), menyimpulkan bahwa K dan Ca juga tersebar dalam matriks biochar dan dapat terikat pada O di biochar sebagai ion *phenoxides* (yaitu K *phenoxides* atau sebagai diselingi K). Namun pemanasan lebih lanjut dengan suhu yang lebih tinggi menyebabkan kerugian lebih lanjut oleh penguapan, serta penggabungan K ke dalam struktur silikat, yang diharapkan akan jauh lebih mampu tersedia. Hasil ini didukung oleh temuan Shinogi (2004), yang melaporkan pengurangan K tersedia dari 14 sampai <1 persen selama pirolisis limbah lumpur, sedangkan konsentrasi K total dua kali lipat (0,51% pada 250°C menjadi 1,12% pada 600°C).

4.1.3. Sulphur

Sebanyak 50% dari total S dari delapan jenis biomassa hilang selama pirolisis di 500°C (Lang *et al.*, 2005). Transformasi S selama pirolisis khas jerami gandum. Sebelum pirolisis, S ditemukan diasosiasikan sebagai sulfat anorganik (40-50% dari total S) dan sebagian sebagai protein (50-60%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa 35-50% dari total S dilepas ke fase gas selama pirolisis pada 400°C sebagai akibat dari dekomposisi termal organik S. Pada suhu yang lebih tinggi (500°C sampai 700°C), kandungan S biochar tidak berubah secara signifikan. Namun, bentuk S berubah di bawah sangat mengurangi kondisi-kondisi yang berlaku selama pirolisis, dengan hilangnya sulfat anorganik (menjadi 21,1% pada 500°C dan 3,1% pada 800°C) untuk konversi ke larut sulfida (misalnya CAS, K₂S) dalam matriks biochar. Bentuk-bentuk S diharapkan menjadi larut air dan secara biologi kurang tersedia.

4.1.4. Fosfor

Sedikit informasi yang tersedia tentang transformasi P selama pirolisis. Untuk limbah biochar lumpur, konsentrasi total P meningkat dengan meningkatnya suhu dari 5,6% pada 250°C menjadi 12,8% pada 800°C. Menurut Bridle dan Pritchard (2004), 100% pemulihan P diperoleh dalam biochar dihasilkan dari lumpur limbah pada 450°C, dibandingkan dengan 45% dari N, yang hilang selama prosedur yang sama. Namun, studi inkubasi di laboratorium menunjukkan bahwa ketersediaan P dalam biochar ini hanya 13% dari total P, jauh lebih rendah daripada yang dari biosolid dan pellet biosolid kering (30-40) (Pritchard, 2003). Menurut Bridle dan Pritchard (2004), hampir setengah dari total P di biochar adalah dalam bentuk HCl-diekstrak (yaitu sebagai Ca-terikat anorganik P) dan karena itu kurang tersedia bagi tanaman. Demikian pul, hasil Shinogi (2004), menunjukkan bahwa P tersedia (diukur sebagai sitrat-P terekstrak) di biochar dari lumpur limbah menurun dengan meningkatnya suhu, dari 0,98% pada 250°C sampai 0,06% pada 800°C, meskipun terjadi peningkatan jumlah P.

V. Karakteristik Biochar

Biochar memiliki ketahanan yang tinggi terhadap dekomposisi dan demineralisasi karena karbon di dalam biochar dalam bentuk senyawa aromatik di mana 6 atom oksigen terikat dalam bentuk cincin tanpa oksigen atau hidrogen (Lehmann & Joseph, 2009). Resistensi biochar terhadap dekomposisi dan demineralisasi juga disebabkan terbentuknya senyawa “organo-mineral” di dalam biochar (Schmidt & Noack, 2000), serta struktur amorf (Lehmann *et al.*, 2009). Biochar merupakan karbon organik, tahan terhadap dekomposisi, sedikit bersifat alkali, tekstur berpori, halus, substansi yang menyerap. Memainkan peran penting dalam beragam proses biogeokimia, seperti reaksi adsorpsi (Schmidt dan Noack, 2000).

Biochar yang dihasilkan dari biomassa, terutama terdiri dari C organik stabil dengan kandungan hara mikro dan makro yang berasal dari bahan baku awal. Biochar dapat meningkatkan fraksi C stabil dalam tanah. C di biochar dalam bentuk aromatik yang tahan terhadap dekomposisi ketika ditambahkan sebagai amandemen tanah (Amonette dan Joseph, 2009), sehingga bermanfaat sebagai alat penyerapan C. Namun, komposisi biochar bervariasi menurut jenis bahan baku dan kondisi pirolisis (Downie, 2009). Kandungan C sebenarnya dapat berkisar antara 172g kg⁻¹ dan 905g kg⁻¹. Kandungan nitrogen berkisar dari 1,8 kg⁻¹ untuk 56.4g kg⁻¹, jumlah P dari 2.7g kg⁻¹ dan 480g kg⁻¹, jumlah kalium (K) dari 1.0 g kg⁻¹ hingga 58 g kg⁻¹ (Chan *et al.*, 2007; Lehmann *et al.*, 2003, Lima dan Marshall., 2005). Biochar juga mengandung berbagai konsentrasi elemen lain seperti Oksigen (O), Hidrogen (H), N, Sulfur, P, kation basa, dan logam berat (Goldberg, 1985; Preston dan Schmidt, 2006). Biochar yang baru diproduksi terdiri dari fase kristal dengan lapisan graphene dan fase amorf struktur aromatik (Lehmann *et al.*, 2005). Permukaan luar mengandung berbagai kelompok fungsional O dan H dan lembaran graphene mungkin berisi kelompok O dan radikal bebas (Bourke *et al.*, 2007). Selain itu, biochar telah diproduksi dengan berbagai nilai pH antara 4 dan 12, tergantung pada bahan baku awal dan kondisi operasi (Lehmann, 2007). Umumnya, suhu pirolisis rendah (<400 °C) menghasilkan biochar asam, sementara meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan biochar alkali. Setelah dimasukkan ke dalam tanah, terjadi oksidasi permukaan karena reaksi air, O₂ dan berbagai agen tanah (Cheng *et al.*, 2006; Lehmann, 2007). Kapasitas tukar kation (KTK) biochar segar biasanya sangat rendah, tetapi meningkat dengan waktu sebagai umur biochar dengan adanya O₂ dan air (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2006).

Perubahan dari biomasa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO₂, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Kondisi ini dapat mengawetkan karbon dan nitrogen organik sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keuntungan dan efisiensi usahatani.

Karakteristik biochar selain ditentukan oleh bahan bakunya, juga ditentukan oleh proses pirolisis. Suhu, tekanan parsial O₂, uap, dan karbon dioksida (CO₂) mengontrol jumlah abu mineral dalam biochar (Bridgwater dan Boocock, 2006). Selama degradasi termal, ion yang sangat mobile (K dan Cl) akan mulai menguap pada suhu yang relatif rendah (Yu *et al.*, 2005). Kalsium (Ca) terutama terletak di dinding sel dan terikat dengan asam organik. Ion Ca dan Si dilepaskan selama degradasi pada suhu yang lebih tinggi dari K dan Cl (Bourke *et al.*, 2007). Magnesium (Mg) baik ionic maupun kovalen terikat dengan molekul organik dan hanya menguap pada temperatur tinggi. Fosfor (P) dan sulfur (S) berhubungan dengan senyawa organik kompleks di dalam sel dan relatif stabil pada suhu rendah. Kadar nitrogen dikaitkan dengan sejumlah molekul organik yang berbeda dan dapat dilepaskan pada suhu relatif rendah (Schnitzer *et al.*, 2007).

Bahan baku dan kondisi pirolisis (suhu, waktu, dan lain lain) dapat mempengaruhi stabilitas dan kandungan unsur hara (Gaskin *et al.*, 2008). Peningkatan P total yang tinggi (151%) menunjukkan bahwa P tidak menguap pada suhu tinggi yang dihasilkan selama produksi arang (Oguntunde *et al.*, 2004). Biochar kayu yang terbentuk di bawah kondisi alam, karbon (C) mulai menguap sekitar 100 °C, N di atas 200 °C, S di atas 375 °C, dan kalium (K) dan P antara 700 °C dan 800 °C. Volatilisasi dari Magnesium (Mg), kalsium (Ca), dan mangan (Mn) terjadi pada suhu atas 1000 °C. Selama karbonisasi, sebagian jumlah N yang hilang dalam bentuk gas amonia namun bahan arang yang dihasilkan dengan P tersedia lebih tinggi sampai 5 kali dibandingkan dengan limbah asal (Tagoe *et al.*, 2008).

Hasil penelitian Hadi *et al.* (2006), pada suhu 505 °C pembuatan arang sampah kota selama 5 jam dengan reaktor pirolisis menunjukkan kualitas terbaik dibandingkan suhu 350, 355, 375, 405, 510 °C. Daya jerap arang tertinggi terhadap larutan iodin 379,80 mg/g dan terhadap uap benzena 12,37%. Tingginya daya jerap dimungkinkan oleh permukaan pori yang terbuka akibat suhu tinggi. Struktur topografi permukaan arang memperlihatkan pembentukan pori-pori yang makin besar dengan naiknya suhu karbonisasi.

Berbeda dengan biochar kaya karbon (C)-organik, pembakaran biomassa dalam api menciptakan abu, yang terutama mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbonat anorganik. Juga, dalam kebakaran besar, kecil bagian dari vegetasi ini

hanya sebagian dibakar dengan suplai O₂ terbatas, dan sisanya sebagai biochar kotoran ayam mengandung N, P dan S (Sharpley ⁷⁰ *et al.*, 1993). Lebih lanjut dilaporkan oleh Tagoe ²¹⁵ *et al.*, (2008), biochar pupuk kandang ayam dan biochar sampah organik kota mengandung ³⁹ unsur hara makro yang tinggi terutama N dan P serta unsur hara mikro yang tersedia bagi akar tanaman dan biota tanah.

Jengkok tembakau yang diolah dengan proses *pyrolysis* menghasilkan biochar yang telah memenuhi syarat sebagai bahan pembenah dan atau pupuk organik tanah sesuai dengan Permentan No. 70 tahun 2011. Bahkan K₂O memiliki kadar 3,66% jauh lebih tinggi daripada SNI19-7030-2004 tentang standard kualitas kompos yang hanya 0,2%. Kadar cemaran logam juga di bawah ambang batas maksimal Permentan dan SNI. Kandungan NPK biochar dari material jengkok tembakau juga lebih tinggi dibandingkan kayu, cangkang kelapa, dan sekam padi ⁸³ pada penelitian yang dilakukan oleh Widowati *et al.*, (2014).

Ada peningkatan kekhawatiran terkait dengan kontaminan yang disimpan dalam biochar dan pencucian ke dalam tanah setelah ditambahkan sebagai amandemen, namun ini tergantung pada asal-usul bahan baku, pirolisis dan proses konversi. Biochar dapat mengandung kontaminan seperti logam berat dan senyawa organik, tetapi umumnya terkait dengan limbah lumpur, atau bahan baku kayu dan kemungkinan tidak akan menjadi masalah jika dihasilkan dari biomassa hutan. Kontaminan yang terkandung dalam bahan baku bisa mengalami perubahan selama proses pirolisis dan dihancurkan atau diubah menjadi senyawa yang tidak berbahaya, sementara yang lain dapat disimpan dalam biochar dan berpotensi merugikan jika ditambahkan ke tanah. Selain itu, beberapa kontaminan (misal *hydrocarbon polycyclic aromatic*) dapat terbentuk selama pirolisis. *Hydrocarbons polycyclic aromatic* (PAH) dapat dibentuk dari setiap bahan baku karbon, tetapi konsentrasi tergantung bahan baku. Dengan demikian, penting untuk memahami komposisi kimia dari bahan baku dan biochar untuk menghindari konsekuensi terhadap lingkungan yang potensial sebelum menambahkannya ke tanah.

Amandemen tanah dengan biochar dari berbagai bahan baku akan mengakibatkan efek pada sifat-sifat tanah dan efek berikutnya pada pertumbuhan dan hasil tanaman. Suhu dan laju pemanasan proses pirolisis juga memiliki efek penting pada sifat fisik maupun kimia dari biochar yang dihasilkan (Amonette dan Joseph, 2009; Downie *et al.*, 2009), yang akan berdampak pada sifat tanah (Gaskin *et al.*, 2008). Bahan baku seperti kotoran unggas dapat menyebabkan biochar dengan pH tinggi dan kandungan P, sementara lumpur limbah dapat menghasilkan biochar dengan N tinggi dan konsentrasi logam berat. Vegetasi segar, kayu atau kulit dapat membuat biochar dengan pH netral, dan konsentrasi hara yang

mencerminkan konsentrasi bahan baku (Chan dan Xu, 2009). Gaskin (2010), membandingkan biochar yang berasal dari kulit kacang atau serpihan kayu, dan menemukan biochar kulit kacang biochar memiliki konsentrasi unsur hara yang lebih tinggi dan menaikkan pH dan konsentrasi kation dasar ketika ditambahkan ke tanah, sementara biochar serpihan kayu tidak banyak berpengaruh pada parameter ini. Dari data terbatas yang tersedia, tidak ada jenis biochar yang diaplikasi dengan kisaran optimum, yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2002). Sangat mungkin bahwa aplikasi biochar tingkat optimum akan bervariasi dan perlu ditentukan untuk setiap jenis tanah dan spesies tumbuhan.

214 5.1. Porositas dan Luas Permukaan Biochar

Porositas dan luas permukaan adalah karakteristik penting dari biochar. Pori-pori yang lebih besar di biochar adalah hasil dari struktur vaskular biomassa asli. Namun, pori nano kecil yang memberikan kontribusi besar ke daerah permukaan biochar itu, hasil dari kondisi suhu tinggi yang digunakan selama pirolisis (Brewer *et al.*, 2009). Biochar dapat memiliki berbagai macam bidang permukaan tergantung pada kondisi bahan baku dan pengolahan, tetapi biasanya biochar switchgrass berkisar $7\text{--}50\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ dan biochar pinus berkisar dari $<10\text{--}400\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ (Brown *et al.*, 2006; Brewer *et al.*, 2009). Luas permukaan tanah berkisar $0,01\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk pasir kasar dan $750\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk kaolinit tanah liat, yang berarti adalah mungkin mengaplikasikan biochar terutama di tanah berpasir untuk meningkatkan luas permukaan keseluruhan (Downie *et al.*, 2009).

Pada pirolisis suhu lebih tinggi, struktur C alifatik diubah menjadi struktur C aromatik, sehingga lebih banyak pori mikro dan luas permukaan yang umumnya lebih besar di biochar yang dihasilkan (Brewer *et al.*, 2009). Sebaliknya, telah dilaporkan bahwa menurunnya luas permukaan dapat terjadi dengan pirolisis suhu tinggi dan tingkat pemanasan tinggi (Luo *et al.*, 2004). Luo *et al.*, (2004) menemukan bahwa ketika suhu pirolisis meningkat $500\text{--}800\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan dengan peningkatan waktu reaksi, luas permukaan menurun. Fenomena ini terjadi lebih sering dengan abu tinggi dan mungkin akibat dari penguapan parsial abu atau komponen biomassa lainnya membentuk "meleleh menengah", yang menutup pori-pori dan mengurangi luas permukaan (Luo *et al.*, 2004).

5.2. Karakteristik Jenis Biochar dan Pupuk Organik

Tiga jenis biochar dari biomassa (sekam padi dan tongkol jagung) diproduksi pada suhu $350\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 4 jam dengan alat pirolisis *fixed bed* di Laboratorium Bioenergi

Universitas Tribhuwana Tunggaladewi. Biochar dari limbah industri tembakau diproduksi pada suhu 700 °C selama 15 menit di PT. Gudang Garam, Tbk dengan alat pirolisis *extrusion* Etia. Sekam padi kering dari penggilingan padi komersial, tongkol jagung kering dari PT. Bisi Internasional Kediri. Biochar tongkol jagung digiling dengan ukuran < 2 mm, biochar limbah industri tembakau (jengkok) dan sekam padi langsung diterapkan pada tanah. Pupuk organik yang digunakan kompos (sampah kota) dan pupuk kandang kotoran ayam (pukan). Kompos diambil dari Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Desa Mulyoagung Kecamatan Dau Kabupaten Malang. Pukan diambil dari peternakan PT. Java Comfeed di Kabupaten Malang. Karakterisasi biochar dilakukan dengan mengukur sifat fisika yang menggunakan prosedur standar. Sifat fisik seperti bulk density (FCO, 1985), daya pegang air dengan metode AOAC 19th Ed, 2012, method 969.05; total C dengan metode gravimetri, ukuran partikel (ASTM) dengan mechanical. Pupuk organik dianalisis dengan prosedur standar.

Karakteristik fisik dari tiga jenis biochar dan dua jenis pupuk organik disajikan pada Tabel 2 merupakan materi yang digunakan pada kajian ini. Total karbon biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam. Karbon organik dari pupuk kandang kotoran ayam > kompos. Kadar karbon terendah dan abu tertinggi pada biochar sekam padi, sebaliknya kadar karbon tertinggi dan abu terendah pada biochar tongkol jagung. Hal ini sejalan dengan Enders *et al.* (2012), bahwa kandungan abu yang relatif tinggi yang dihasilkan biochar karbon fixed relatif rendah, yang disebabkan oleh kadar abu yang tinggi menghambat pembentukan karbon. Ada yang signifikan ($p < 0,05$) pengaruh bahan baku dan suhu pada sifat agronomi dari biochar. Kadar abu pada penelitian ini (24 -53%) yang memiliki kisaran yang sama seperti yang dilaporkan Muhammad *et al.*, (2014) yaitu kadar abu biochar berkisar antara 25-52% dan kadar abu secara signifikan ($P < 0,05$) meningkat dengan meningkatnya suhu. Suhu pirolisis dan bahan baku memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat kimia dari biochar.

Kapasitas menahan air tergantung dari biochar maupun pupuk organik. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Kadar karbon terendah dan abu tertinggi pada biochar sekam padi, sebaliknya kadar karbon tertinggi dan abu terendah pada biochar tongkol jagung. Hal ini sejalan dengan Enders *et al.* (2012), bahwa kandungan abu yang relatif tinggi yang dihasilkan biochar karbon fixed relatif rendah, yang disebabkan oleh kadar abu yang tinggi menghambat pembentukan karbon. Ada yang signifikan ($p < 0,05$) pengaruh bahan baku dan suhu pada sifat agronomi dari biochar. Kadar abu pada penelitian

ini (24 -53%) yang memiliki kisaran yang sama seperti yang dilaporkan Muhammad *et al.* (2014) yaitu kadar abu biochar berkisar antara 25-52% dan kadar abu secara signifikan ($P < 0,05$) meningkat dengan meningkatnya suhu. Suhu pirolisis dan bahan baku memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat kimia dari biochar. Kapasitas menahan air tergantung dari biochar maupun pupuk organik. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos.

Tanggapan positif dari aplikasi biochar tidak hanya berhubungan dengan nutrisi tanaman termasuk netralisasi toksin (Wardle *et al.*, 1998); memperbaiki sifat fisik tanah (misalnya peningkatan kapasitas menahan air) (Iswaran *et al.*, 1980) atau mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Kapasitas menahan air dari biochar maupun pupuk organik tergantung dari bahan baku biomasa. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010) menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Bulk density biochar sekam padi, tongkol jagung, dan jengkok tembakau masing-masing 0,65; 0,27; dan 0,31 g cm⁻³. Menurut Ammu and Anitha (2015), karakter biochar seperti bobot isi rendah, porositas dan kapasitas pegang air tinggi membuat biochar cocok untuk pengelolaan hara dan air. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki bulk density jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis (~ 0,3 Mg m⁻³ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah 1,3 Mg m⁻³) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi bulk density tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman.

Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010), menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Beberapa macam ukuran pori biochar lebih tinggi daripada ukuran pori pupuk organik (Tabel 2). Mesh ukuran butiran 30 dan 18 dari biochar jengkok lebih besar dari biochar tongkol tetapi mesh 325 dan diatas 60 dari biochar jengkok lebih kecil dari biochar tongkol. Ukuran partikel dari biochar dihasilkan dari pirolisis bahan organik yang tergantung pada sifat dari bahan asli. Karakteristik fisik dan kimia dari biochar dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan baku dan kondisi pirolisis, seperti suhu dan waktu tinggal dalam tungku (Gaskin *et al.*, 2008). Keiluweit *et al.* (2010), melaporkan porositas meningkat (dan

maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang. *Volatil matter* dari biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam padi.

Tabel 2. Karakteristik biochar, biomasa, dan pupuk organik

Parameter	Biochar, biomasa, dan pupuk organik							
	Char sekam padi (S)	Sekam padi	Char tongkol jagung (T)	Tongkol jagung	Char jengkok tembakau (J)	Jengkok tembakau	Pupuk kandang kotoran ayam (A)	Kompos (K)
Kapasitas Pegang Air (%)	326,04		249,6		143,7		213,38	111,68
Bulk Density (gm/cm ³)	0,65		0,27		0,31			
Ukuran Partikel (µm)								
- Mesh 325 (0,044 mm)	2,7		0,8		0,55		0,15	0,2
- Mesh >60 (0,250 mm)	16,75		14,25		4,9		3,05	7,6
- Mesh Ukuran Butiran 30 (0,595 mm)	42,6		54,2		79,9		10,55	22
- Mesh 18 (1,00 mm)	68,15		70,8		94,9		20,95	36,2
pH (H ₂ O 1:2,5)	9,44	4,30	9,46	5,10	8,91	5,60	6,00	7,30
Total C (%)	29,8		45,6		40			
C organik (%)		30,08		34,24		22,56	25,02	15,58
Ec (mili siemens)	2,56		4,67		16,45		12,65	1,31
CEC cmol kg ⁻¹	19,53		40,12		34,62			
KTK me 100 g ⁻¹							37,78	59,03
Abu (%) (Ash)	53,4		23,6		32,8			
N (%)	0,57	0,92	0,51	0,84	1,83	2,45	4,05	2,60
P (%)	0,14	1,75	0,46	0,35	0,44	2,19	11,62	3,87
K (%)	1,71	0,25	3,96	0,68	5,15	0,38	0,29	0,04
S, SO ₄ (%)	0,22		0,41		0,42		0,36	0,29
Na (%)	0,33	0,35	1,63	0,39	1,83	2,32	1,81	1,77
Ca (%)	0,92	0,63	2,45	0,44	3,88	1,45	1,69	1,94
Mg (%)	0,03	0,23	0,28	0,06	0,36	0,73	0,35	0,44
Mn (%)	0,08		0,03		0,04		0,04	0,04

5.3. Suhu Pirolisis

Kandungan unsur hara total dari biochar rata-rata rendah dengan suhu pirolisis, jenis dan interaksi, selama rentang bahan baku biochar. Secara umum, meningkatnya suhu pirolisis meningkatkan konsentrasi unsur hara total. Peningkatan suhu pirolisis biasanya menyebabkan hilangnya sifat mudah terurai seperti senyawa volatil dan elemen (misalnya, O, H, N, S) dan dengan demikian unsur hara lain yang terkonsentrasi di biochar, termasuk C, Ca, Mg dan K. Bahkan, peningkatan konsentrasi unsur hara, seperti C, dengan meningkatnya suhu pirolisis sering dikaitkan dengan kerugian H dan O dari biochar (Antal dan Gronli., 2003). Selanjutnya, selama pirolisis terjadi serangkaian reaksi pembelahan dan polimerisasi yang mengakibatkan penciptaan struktur C tetap stabil, yang secara langsung berkaitan dengan peningkatan konten C biochar. Untuk mendukung fakta-fakta ini, telah dilakukan teknik C fraksionasi berurutan, mencatat bahwa mayoritas C biochar tetap dalam bentuk non labil (tidak tersedia untuk degradasi mikroba). Namun, ketersediaan C tergantung dengan suhu pirolisis yang ¹⁶⁹ lebih tinggi yang terkait dengan C non-labil yang lebih besar.

Selain itu, suhu yang lebih besar bisa menimbulkan efek konsentrasi karena hilangnya unsur-unsur lain oleh penguapan. Sebagai contoh, tampak bahwa kadar N total mencapai tingkat maksimum antara 300 sampai 399 °C dan menurun pada suhu yang lebih besar. Cantrell *et al.* (2012), mengamati respon yang sama di kotoran hewan. Koutcheiko *et al.* (2007), menemukan respon yang sama, berpotensi hilangnya N yang mengandung rantai amino alifatik yang dilepaskan pada saat pemanasan yang lebih besar. Rugi konten P total dengan meningkatnya suhu pirolisis juga telah diamati. Senyawa yang mengandung P dapat menguap dekat 760 °C, yang menjelaskan penurunan kandungan P saat bahan baku dipirolisis pada temperatur yang lebih besar dari 800 °C.

Pengaruh suhu pirolisis dari total kandungan unsur hara biochar berbeda tergantung pada panjang periode pirolisis. Lebih khusus, meningkatnya suhu selama pirolisis lambat akan cenderung terkonsentrasi dan dengan demikian meningkatkan kandungan unsur hara total (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan dengan pirolisis cepat. Namun, telah menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan pirolisis lambat, pirolisis cepat dapat mengakibatkan konversi lengkap dari C ke bentuk yang lebih stabil (Bruun *et al.*, 2012). Dengan demikian, adalah mungkin bahwa total C dalam biochar pirolisis akan cepat lebih mudah dimineralisasi.

Biochar mengandung ¹² sejumlah unsur anorganik, namun pasokan unsur hara tersedia bisa sangat bervariasi (Liu *et al.*, 2012). Sebuah penelitian yang dilakukan pada tahun 2012,

di mana keduanya dianalisa unsur hara tersedia dan total telah dilaporkan dan mendukung anggapan ini. Tidak ada hubungan antara P tersedia dan P total ($r^2 = 0,05$) di berbagai biochar yang dilaporkan. Sebaliknya, antara 55 dan 65% dari K, Mg dan Ca tersedia dari biochar dapat berhubungan dengan konsentrasi total. Hal ini segera jelas bahwa konsentrasi total elemental tidak bisa akurat untuk memprediksi kandungan unsur hara yang tersedia di biochar, ada faktor-faktor lain seperti kondisi pirolisis mempengaruhi unsur hara yang hilang maupun yang dipertahankan.

Meskipun kadar N total dari biochar berkisar 0,09-3,3%, literatur telah melaporkan bahwa jumlah N tersedia sebagai nitrat (NO_3) diabaikan. Bahkan, persentase yang tersedia N dibandingkan dengan total dalam semua kasus adalah $<0,01\%$. Konsentrasi N rendah diekstrak (sebagai NO_3 , NH_4 , NO_2) di biochar paling sering diamatikan dapat disebabkan kehilangan gas N selama pirolisis (Amonette dan Joseph, 2009). Pada suhu pirolisis $<760^\circ\text{C}$, ketersediaan P kemungkinan dikendalikan oleh kation terkoordinasi (Al, Fe, Ca, Mg) dan tergantung pada bahan baku (T. Wang *et al.*, 2012). Dalam kasus biochar, kemungkinan P akan terkait dengan Ca dan Mg karena biochar pH tinggi, dengan beberapa senyawa ini dalam bentuk tersedia. P tersedia berkisar 0,4-34% dari total P di biochar. Kalium juga biasanya terkonsentrasi dalam biochar dan cenderung sangat tersedia. Cantrell *et al.* (2012) menunjukkan bahwa konsentrasi K total (dalam kombinasi dengan Na) adalah prediktor penting dari konduktivitas listrik biochar, atau jumlah garam yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk K di biochar adalah larut dalam air. Ketersediaan kalium berkisar 3,5-100% dari total K.

5.4. Karakteristik Fisik Biochar

Karakteristik fisik biochar ²¹² baik secara langsung maupun tidak langsung berhubungan dengan cara di mana biochar mempengaruhi sistem tanah. Tanah memiliki sifat fisik yang berbeda tergantung pada sifat mineral dan bahan organik, jumlah relatif mineral dan bahan organik dan cara di mana mineral dan bahan organik berhubungan (Brady dan Weil, 2008). Ketika biochar diterapkan dalam tanah, kontribusinya terhadap sifat fisik mungkin signifikan ⁹ mempengaruhi kedalaman, tekstur, struktur, porositas dan konsistensi melalui perubahan luas permukaan, ukuran distribusi pori, distribusi ukuran partikel, kepadatan dan kemasaman. Efek biochar pada sifat fisik tanah memiliki dampak langsung terhadap pertumbuhan tanaman karena kedalaman penetrasi dan ketersediaan udara dan air dalam zona akar. Biochar secara langsung akan mempengaruhi respon tanah untuk air, agregasi,

kinerja selama persiapan tanah, dinamika mengembang-menyusut, permeabilitas, serta kapasitasnya untuk mempertahankan kation dan responnya terhadap perubahan suhu lingkungan. Selain itu, secara tidak langsung, kesuburan tanah secara kimia dan biologi dapat dihasilkan dari sifat fisik, seperti presentase fisik untuk reaksi kimia dan penyediaan habitat pelindung untuk mikroba tanah (Brady dan Weil, 2008).

5.5. Asal Struktur Biochar

Karakteristik fisik biochar tidak hanya tergantung pada bahan organik (biomassa), tetapi juga sistem karbonisasi atau pirolisis (termasuk pra dan pasca-penanganan biomassa dan biochar). Tingkat perubahan struktur asli biomassa melalui penataan ulang struktur mikro selama pemrosesan dan pembentukan retak. Biochar adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada karbon tinggi yang terbentuk sebagai hasil dari *pyrolysis* bahan organik, material dapat berasal dari beragam bahan biomassa. Struktur asli sebagian besar jenis bahan dicantumkan pada produk biochar dengan demikian, memiliki pengaruh pada karakteristik akhir fisik dan struktural. Selama *pyrolysis*, massa hilang (sebagian besar dalam bentuk organik yang mudah menguap) dan jumlah proporsional penyusutan atau pengurangan volume yang terjadi. Oleh karena itu, selama konversi termal, kerangka mineral dan C dibentuk untuk mempertahankan porositas dan struktur dari bahan asli. Pori-pori berukuran besar berfungsi sebagai feeder untuk pori-pori lebih rendah (pori meso dan mikro). Komposisi kimia dari bahan baku biomassa memiliki dampak langsung pada sifat fisik dari biochar yang dihasilkan. Pada suhu di atas 120°C, bahan organik mulai mengalami dekomposisi termal dan kehilangan kelembaban. Hemiselulosa terdegradasi pada suhu 200-260°C, cellulose pada 240-350°C, dan lignin pada 280-500°C. Proporsi komponen anorganik (abu) juga memiliki implikasi untuk struktur fisik.

5.6. Karakteristik Struktural

Struktur biochar dapat mempengaruhi beberapa karakteristik kualitasnya. Porositas dan permukaan bidang biochar sangat penting dan memiliki peran besar dalam menentukan potensi penggunaan akhir. Struktur makro awal bahan baku adalah sama dengan yang dihasilkan pada biochar dan terutama terjadi untuk bahan tanaman yang tinggi selulosa (Sohi *et al.*, 2010). Pirolisis menghilangkan senyawa, struktur makro dari biomassa sebagian besar dipertahankan dalam biochar itu. Namun, stres struktural menyebabkan retakan di struktur makro, dan keluarnya gas volatil yang menyebabkan pori-pori kecil dan terbuka di bahan (Downie *et al.*, 2009).

Luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara (Downie *et al.*, 2009; Sohi *et al.*, 2010). Bagreev *et al.* (2001), menggambarkan bahwa peningkatan porositas dan luas permukaan biochar terkait dengan suhu pirolisis. Boateng (2007), menemukan bahwa luas permukaan biochar dihasilkan dari *switchgrass* rendah; mulai 7,7-7,9 m² g⁻¹. Penelitian lain melaporkan hasil awal yang sama, tetapi kemudian menunjukkan bahwa luas permukaan biochar meningkat karena suhu pirolisis meningkat dari 400 sampai 950 °C (masing-masing 41-99 m² g⁻¹) (Bagreev *et al.*, 2001). Keiluweit *et al.* (2010), menunjukkan kecenderungan umum dari luas permukaan meningkatnya biochar dengan meningkatnya suhu pirolisis. Keiluweit *et al.* (2010), juga menggambarkan bahwa porositas meningkat (dan maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang.

Sementara mekanisme kapasitas tanah memegang air meningkat dengan biochar adalah tidak dipahami dengan baik, hal ini juga diketahui bahwa luas permukaan partikel tanah sangat mempengaruhi memegang kapasitas memegang air; pasir memegang sedikit air dan tanah liat memegang banyak. Biochar yang ditambahkan ke tanah untuk meningkatkan luas permukaan dapat berdampak pada kapasitas memegang air. Meskipun umumnya biochar cenderung meningkatkan kapasitas adsorpsi air dan tingkat infiltrasi beberapa tanah, beberapa peneliti telah melaporkan bahwa beberapa biochar diproduksi pada suhu rendah 400 °C.

Kondisi pirolisis pada suhu rendah juga dapat menghasilkan biochar yang cocok untuk digunakan sebagai hidrofobik, yang dapat membatasi efektivitasnya untuk menyimpan air dan pengganti pupuk. Sementara biochar yang dibuat pada suhu tinggi akan lebih baik/ cocok untuk kegiatan adsorpsi seperti mengurangi kontaminasi logam berat dalam tanah (Sohi *et al.*, 2010). Sebaliknya, Boateng (2007) menunjukkan bahwa biochar yang diproduksi pada 480 °C memiliki adsorpsi karakteristik rendah tanpa aktivasi lebih lanjut. Selain itu, telah ditemukan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah yang rapuh dan rentan terhadap abrasi. Oleh karena itu porositas dan luas permukaan biochar tidak dapat mempengaruhi kualitas produk dalam jangka panjang.

5.7. Luas Permukaan Tanah dan Biochar

Karakteristik luas permukaan tanah sangat penting karena mempengaruhi semua fungsi untuk kesuburan, termasuk air, udara, siklus unsur hara, dan aktivitas mikroba.

Keterbatasan kapasitas tanah berpasir untuk menyimpan air dan unsur hara tanaman sebagian berhubungan dengan luas permukaan yang relatif kecil dari partikel tanah. Pasir kasar memiliki permukaan spesifik yang sangat rendah sekitar $0.01\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$, dan pasir halus sekitar $0.1\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$. Lempung memiliki permukaan spesifik relatif besar dari $5\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk kaolinit dan sekitar $750\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk montmorillonit. Tanah yang sebagian besar mengandung liat memiliki kapasitas menahan air tinggi tetapi aerasi yang cukup. Kadar bahan organik tinggi telah dibuktikan untuk mengatasi masalah terlalu banyak air pada tanah liat, dan juga meningkatkan kadar air dalam tanah berpasir. Ada indikasi yang sama biochar⁴ mengubah sifat fisik tanah, dalam hal ini memiliki banyak manfaat yang sama dengan amandemen organik lainnya (Chan *et al.*, 2007). Luas permukaan spesifik biochar yang umumnya lebih tinggi daripada pasir dan sebanding dengan atau lebih tinggi dari tanah liat, karena itu akan menyebabkan kenaikan bersih total permukaan spesifik tanah ketika ditambahkan sebagai amandemen.

Pengaruh biochar pada populasi mikroba dalam tanah. Biomassa mikroba tanah umumnya meningkat dengan meningkatnya kandungan liat di bawah kondisi lapangan dan laboratorium. Respon ini umumnya dikaitkan dengan peningkatan permukaan (Juma, 1993). Luas permukaan yang lebih tinggi dari tanah bertekstur lebih halus dapat mengakibatkan peningkatan kadar air total dan perlindungan fisik membaik. Percobaan biochar telah dikaitkan dengan peningkatan struktur tanah atau aerasi tanah di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

5.8. Distribusi Ukuran Partikel

Ukuran partikel dari biochar yang dihasilkan dari pirolisis bahan organik sangat tergantung pada sifat dari bahan asli. Susut dan gesekan selama pirolisis serta ukuran partikel dari bahan baku bahan organik cenderung lebih besar daripada biochar yang dihasilkan. Dalam beberapa kasus, partikel dapat menggumpal, sehingga peningkatan ukuran partikel juga ditemukan. Tergantung pada intensitas mekanik dari teknologi pirolisis yang digunakan, tingkat gesekan dari partikel biomassa yang terjadi selama pemrosesan. Hal ini terutama berlaku dalam penanganan pasca bahan sebagai biochar secara signifikan lebih remah dibanding biomassa asli.

Biochar berasal dari serbuk gergaji dan serpihan kayu dengan pra perlakuan yang berbeda, menghasilkan ukuran partikel yang kontras. Proses pirolisis, melalui energi terus menerus lambat (tingkat pemanasan $5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hingga $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$) mengakibatkan

peningkatan proporsi partikel dalam distribusi ukuran yang lebih kecil untuk kedua bahan baku, yang diukur dengan pengayak kering. Hal ini juga dapat dilihat sebagai HTT pirolisis meningkat (450°C sampai 500°C sampai 700°C), ukuran partikel cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan oleh penurunan kekuatan tarik materi seperti yang lebih lengkap bereaksi, sehingga kurang tahan terhadap gesekan selama pemrosesan.

5.9. Penggunaan Teknologi

Bahan baku biomassa disusun dengan cara yang berbeda. Semakin cepat laju pemanasan, semakin kecil partikel bahan baku untuk memfasilitasi perpindahan panas dan massa dari reaksi pirolisis. Bahan baku pada pirolisis cepat adalah pra-diproses untuk debu halus atau bubuk, karena itu, biochar yang dihasilkan sangat halus. Teknologi pirolisis lambat terus menerus, yang terjadi pada tingkat pemanasan lebih lambat ($\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ sampai $30\text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$), dapat menampung partikel yang lebih besar sampai dalam dimensi beberapa sentimeter. Dalam sebuah studi pirolisis kelapa sawit, ditemukan bahwa hasil biochar yang dipengaruhi oleh ukuran partikel batu dan suhu pirolisis maksimum. Waktu retensi lebih lama akan mengatasi pengaruh ukuran partikel yang lebih besar.

Peningkatan susut linier dari partikel yang dipirolisis dapat terjadi dalam hubungannya dengan hilangnya bahan *volatile*. Misalnya, karena suhu pirolisis meningkat dari $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ sampai $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$, susut linier partikel ditunjukkan meningkat 0-20% untuk biochar gambut. Cetin *et al.* (2004), menunjukkan bahwa peningkatan tekanan pirolisis (dari atmosfer ke-5, 10 dan 20 bar) mengarah ke pembentukan partikel biochar besar.

5.10. Kepadatan Biochar

Dua jenis kepadatan biochar: kepadatan padat dan kepadatan massal/nyata. Kerapatan padat adalah densitas pada tingkat molekuler, terkait dengan tingkat dari struktur C. Densitas adalah bahan yang terdiri dari beberapa partikel dan termasuk porositas makro dalam setiap partikel dan rongga antar partikel. Seringkali, peningkatan kepadatan padat disertai dengan penurunan kepadatan massal sebagai porositas yang berkembang selama pirolisis. Hubungan antara dua jenis kepadatan, yang melaporkan bahwa kepadatan massal meningkat dengan perkembangan porositas 8,3-24% pada suhu pirolisis hingga 800°C (Guo dan Lua, 1998). Namun, ketika temperatur meningkat sampai $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, kepadatan massal biochar meningkat dan porositas menurun. Hubungan terbalik antara kerapatan padat dan massal juga ditunjukkan oleh untuk biochar *eucalyptus* diproduksi dalam tungku kontinyu

memiliki kedua nilai terendah kepadatan massal dan tertinggi nilai kerapatan padat

Kepadatan maksimum C di biochar telah dilaporkan berada diantara 2.0 g cm^{-3} dan 2.1 g cm^{-3} berdasarkan pengukuran sinar-X. Nilai-nilai tersebut hanya sedikit di bawah kepadatan grafit padat 2.25 g cm^{-3} . Kepadatan paling kokoh biochar, bagaimanapun, adalah secara signifikan lebih rendah dari grafit karena porositas residu dan struktur turbostratik dengan nilai-nilai khas sekitar $1.5 - 1.7 \text{ g cm}^{-3}$. Nilai yang lebih rendah seperti dari biochar kayu pinus yang dikumpulkan dari situs kebakaran alami di 1.47 g cm^{-3} . Biochar diaktifkan untuk menghasilkan porositas mikro untuk adsorpsi gas lebih padat dibandingkan jika biochar dioptimalkan untuk menghasilkan porositas meso dan makro untuk pemurnian cairan.

Kepadatan dari biochar tergantung pada sifat bahan awal dan proses pirolisis. Kepadatan biochar meningkat dengan meningkatnya proses suhu dan lama pemanasan. Jumlah yang lebih rendah dari volatil, yang memiliki berat molekul rendah dari fixed C, dan kandungan abu rendah menghasilkan kepadatan tinggi padat di biochar (Jankowska *et al.*, 1991). Namun, Brown *et al.* (2006) menunjukkan kepadatan yang independen laju pemanasan dan langsung tergantung kepadatan pada suhu akhir pirolisis.

Bulk density juga merupakan fitur fisik penting dari biochar. Kepadatan sebagian besar biochar terbuat dari berbagai jenis kayu olahan dalam berbagai jenis kiln tradisional berkisar antara $0.30 - 0.43 \text{ g cm}^{-3}$. Nilai densitas diberikan dalam literatur untuk karbon aktif yang digunakan untuk rentang adsorpsi gas dari $0.40 - 0.50 \text{ g cm}^{-3}$, sedangkan untuk karbon aktif yang digunakan untuk *decolourization*, kisaran adalah 0.25 g cm^{-3} untuk tambahan 0.75 cm^{-3} .

5.11. Karakteristik Biologi Biochar

Menurut Thies and Rillig (2009), penelitian di Jepang dan di AS telah menunjukkan bahwa biochar merangsang aktivitas berbagai mikroorganisme tanah pertanian dan sangat mempengaruhi mikrobiologis dalam mengikat tanah (Pietikäinen *et al.*, 2000). Kehadiran dan ukuran distribusi pori-pori di biochar menyediakan habitat yang cocok bagi banyak mikroorganisme dengan melindungi dari predator dan pengeringan dan menyediakan beragam (C), kebutuhan energi dan mineral (Saito dan Muramoto, 2002; Warnock *et al.*, 2007). Kepentingan menggunakan biochar untuk meningkatkan kesuburan tanah, banyak studi ilmiah yang dilakukan untuk lebih memahami bagaimana biochar mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah dan kesesuaian sebagai habitat mikroba. Karena organisme tanah menyediakan berbagai layanan ekosistem, memahami bagaimana menambahkan biochar ke

tanah dapat mempengaruhi ekologi tanah yang sangat penting untuk kualitas tanah.

Diantara jasa ekosistem yang menyediakan mikroorganisme tanah dari bahan organik yang melapuk dan imobilisasi hara anorganik, penyaringan dan bioremediasi kontaminan tanah, penyakit tanaman dan menekan penyebab pelepasan gas rumah kaca, dan meningkatkan porositas tanah, agregasi dan infiltrasi air (Thies dan Grossman, 2006). Ketika mereka berinteraksi dengan tanaman di rizosfer, bakteri, jamur, protozoa dan nematoda sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk memperoleh unsur hara makro dan mikro. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat langsung dari asosiasi mutualistik antara akar tanaman dan mikroorganisme, seperti dengan mikoriza arbuskular (AM) jamur *Glomeromycota* atau fiksasi nitrogen (N_2) dari bakteri rhizobia, atau melalui trofik interaksi yang dihasilkan dari ekskresi unsur hara, seperti protozoa dan nematoda. Aktivitas mikroba sangat mempengaruhi fungsi tanah sehingga menghasilkan pertumbuhan tanaman. Sifat fisik dan lingkungan kimia biochar dapat mengubah dari kegiatan biologi. Sifat dan fungsi komunitas mikroba tanah berubah sebagai respon terhadap banyak faktor seperti iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik (Thies dan Grossman, 2006). Biochar mempengaruhi biota tanah mungkin berbeda dari jenis lain dari bahan organik ditambahkan, karena stabilitas biochar membuat tidak mungkin menjadi sumber energi yang baik atau sel C setelah setiap awal bio-minyak atau kondensat telah terurai. Sebaliknya, perubahan fisik dan kimia biochar sampai lingkungan tanah yang pada gilirannya mempengaruhi karakteristik dan perilaku biota tanah.

5.12. Biochar Sebagai Habitat Bagi Mikroorganisme Tanah

Struktur pori biochar, luas permukaan internal yang tinggi dan kemampuannya untuk menyerap bahan organik terlarut, gas dan unsur hara anorganik kemungkinan untuk menyediakan habitat yang sangat cocok bagi mikroba untuk menjelajah, tumbuh dan berkembang biak, terutama untuk bakteri, actinomycetes dan jamur mikoriza arbuskula. Beberapa anggota kelompok ini dapat menjelajah permukaan biochar ⁵ tergantung pada sifat fisik dan kimia dari biochar yang berbeda. Ruang pori biomassa yang dipirolisis meningkat beberapa lipat selama pembakaran dan berhubungan dengan suhu pembakaran dan bahan baku. Perkiraan luas permukaan yang dihasilkan biochar berbeda berkisar dari 10 sampai beberapa ratus meter persegi per gram ($m^2 g^{-1}$), yang memberikan area permukaan meningkat secara signifikan untuk kolonisasi mikroba. Tergantung pada ukuran pori tertentu, mikroba yang berbeda akan atau tidak akan memiliki akses ke ruang internal. Beberapa penulis telah menyarankan bahwa pori-pori biochar dapat bertindak sebagai

tempat berlindung atau mikrohabitat bagi mikroba kolonial, di mana mereka dilindungi dari predator alami (Saito dan Muramoto, 2002, Warnock *et al.*, 2007) atau di mana mikroba itu kurang kompetitif dalam lingkungan tanah yang menjadi nyaman (Ogawa, 1994). Variasi ukuran pori partikel biochar yang berbeda dari bahan baku dan kondisi pirolisis seperti koloni mikroflora dan dilindungi, terutama dalam pori-pori yang lebih kecil. Porositas biochar tinggi juga dapat untuk mempertahankan kelembaban yang lebih. Pietikäinen *et al.* (2000), melaporkan bahwa dua biochar, dari humus dan dari kayu, kapasitas menahan air (WHC) lebih tinggi (2.9 mL g^{-1} bahan kering) dari karbon aktif (1.5 mL g^{-1} peduli kering) atau batu apung (1.0 mL g^{-1} bahan kering). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat menyebabkan peningkatan secara keseluruhan dalam kapasitas menahan air dari tanah yang akan ditambahkan. Untuk biochar dengan kandungan mineral abu tinggi, porositas akan terus meningkat karena abu yang tercuci dari waktu ke waktu, dengan demikian, kapasitas biochar untuk mempertahankan air, menyediakan permukaan untuk mikroba untuk memperbanyak diri, dan untuk berbagai elemen dan senyawa untuk menjadi teradsorpsi juga cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Pori-pori yang lebih kecil akan menarik dan mempertahankan air kapiler tanah lebih lama daripada pori-pori yang lebih besar (lebih besar dari $10 \mu\text{m}$ untuk $20 \mu\text{m}$) di kedua biochar dan tanah. Air adalah pelarut universal dan keberadaan biologis di pori biochar meningkatkan 'Huni' biochar substansial.

Embun, suhu dan konsentrasi ion hidrogen (pH) adalah faktor lingkungan yang paling kuat mempengaruhi kelimpahan bakteri, keragaman dan aktivitasnya (Wardle, 1998). Keragaman komunitas bakteri tanah berbeda dengan tipe ekosistem, tetapi bahwa perbedaan terutama oleh pH tanah, dengan keragaman bakteri tertinggi di tanah netral dan terendah di tanah asam. Kegiatan populasi bakteri juga sangat dipengaruhi oleh pH. Dalam kondisi asam dan basa, protein menjadi terdenaturasi dan aktivitas enzim dihambat, merusak proses metabolisme. Biochar bervariasi dalam pH, tergantung pada bahan baku dan suhu pirolisis dan, dengan demikian, juga akan bervariasi dalam komunitas mikroba yang berkembang di sekitarnya. Di bawah pH ekstrem, jamur akan mendominasi karena memiliki berbagai toleransi pH, kebanyakan bakteri lebih memilih pH sekitar netral. Menambahkan biochar ke tanah, apakah asam atau alkali, dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam komposisi komunitas tanah dengan mengubah rasio keseluruhan bakteri terhadap jamur, serta dominasi genera yang berbeda dalam populasi ini. Hal ini juga secara signifikan dapat mengubah fungsi tanah dengan mempengaruhi aktivitas enzim dan, dengan demikian, aktivitas mikroba secara keseluruhan.

Biochar dapat meningkatkan habitat bagi mikroorganisme tanah dan akar tanaman

(Atkinson *et al.*, 2010) sebagai aplikasinya juga dapat meningkatkan retensi kelembaban di tanah ringan dan filtrasi air dan drainase di tanah yang lebih berat. Dengan demikian, meningkatkan karakteristik fisika tanah dapat meningkatkan interaksi kimia yang mendukung aktivitas mikroba. Karena biochar adalah resistensi terhadap degradasi mikroba, perbaikan ini dapat bertahan untuk waktu yang lama. Banyak studi juga menunjukkan bahwa lebih baik memahami efek biochar di jenis tanah yang berbeda sehingga akan membantu dalam menggunakannya untuk manajemen yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda dan mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapannya (Sohi *et al.*, 2010).

Biochar dapat mengubah proses biologis di tanah seperti mineralisasi N dan nitrifikasi dengan mempengaruhi komunitas bakteri yang terlibat dalam proses ini serta memberikan lingkungan yang sesuai untuk meningkatkan keseluruhan aktivitas mikroba (Berglund *et al.*, 2004). Telah didokumentasikan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Pengaruh penambahan biochar pada biomassa dan aktivitas mikroba; biochar ditambahkan ke empat tanah yang berbeda: Mollisol, Alfisol, Entisol, dan Spodosol di lima tingkat aplikasi dari 0,1 kg kg⁻¹ biochar tanah. Hasil menunjukkan signifikan di kedua biomassa mikroba dan aktivitas dengan meningkatnya tingkat aplikasi. Penelitian ini juga menunjukkan pola yang sama dari dampak biochar pada biomassa mikroba, aktivitas mikroba, dan ketersediaan hara di keempat tanah tetapi respon mikroba adalah beragam, tergantung pada perbedaan kemampuan memanfaatkan hara di setiap tanah (Kolb *et al.*, 2009). Penambahan biochar yang berasal dari dua jenis *eucalyptus* kayu pada empat tingkat (0, 1, 2, dan 4% b/b) yang ditambahkan ke Ultisol berpasir dan Oxisol liat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengapuran adalah aspek yang paling menguntungkan dari penambahan biochar di kedua tanah, terutama tanah berpasir Ultisol, yang memiliki kesuburan rendah. Tingkat aplikasi biochar yang paling menguntungkan diamati antara 1 dan 2% b / b (Butnan *et al.*, 2015).

5.13. Biochar Sebagai Substrat Untuk Biota Tanah

Bakteri dan jamur bergantung pada enzim ekstraseluler untuk mendegradasi substrat di lingkungan mereka menjadi molekul yang lebih kecil yang kemudian dapat diambil ke dalam sel dan digunakan untuk berbagai kegiatan metabolik (Paul, 2007). Permukaan menjadi sangat penting dalam hal ini, apakah permukaan agregat tanah, akar tanaman, partikel tanah liat, bahan organik tanah atau biochar. Aktivitas enzim ekstraseluler akan

tergantung pada lokasi molekul pada protein yang berinteraksi dengan permukaan biochar. Jika bagian aktif enzim terkena fungsional dan bebas untuk berinteraksi dengan lingkungan, maka peningkatan aktivitas dapat terjadi. Namun, jika bagian aktif lemah maka dapat mengakibatkan aktivitas berkurang. Karbon organik tanah memainkan peran penting dalam siklus hara dan meningkatkan cadangan air tersedia bagi tanaman, kapasitas buffer tanah dan struktur tanah. Peneliti menggunakan biochar sebagai zat relatif inert yang diubah sangat sedikit oleh kimia atau proses biokimia dari waktu ke waktu. Namun, sifat permukaan biochar melakukan perubahan dengan waktu dan secara perlahan termineralisasi selama jangka waktu yang lama. Meskipun biochar tidak sepenuhnya lembam, laju dekomposisi jauh lebih lambat daripada bahan organik yang tidak diarsir. Oleh karena itu, partikel biochar sendiri tidak bertindak sebagai substrat yang signifikan untuk metabolisme mikroba. Sebaliknya, sisa bio-minyak pada partikel dan kisaran senyawa teradsorpsi ke permukaan biochar tampaknya menjadi satu-satunya substrat yang tersedia dalam jangka pendek untuk mendukung pertumbuhan mikroba dan metabolisme.

Populasi mikroba tanah dapat dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas biochar yang ditambahkan ke tanah. Kualitas ⁵ biochar sangat tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis. Flash carbonizing dan beberapa kondisi pirolisis suhu rendah meninggalkan residu bio-minyak dan turunan lainnya pada permukaan biochar (Steiner *et al.*, 2008). Tergantung pada komposisi senyawa sisa pirolisis, mereka dapat berfungsi sebagai substrat pertumbuhan mikroba dan metabolit-LISM, seperti yang diusulkan oleh Ogawa (1994) dan Steiner *et al.*, (2008), tetapi mereka juga dapat menjadi racun bagi tanaman seperti ditunjukkan oleh McClellan *et al.*, (2007), dan mungkin untuk beberapa mikroba.

Bio-minyak, abu, asam pyroligneous (HK) ¹⁹ (Steiner *et al.*, 2008) dan materi (VM) (McClellan *et al.*, 2007) volatile, antara lain, adalah istilah yang diberikan oleh berbagai peneliti untuk berbagai residu yang tersisa di permukaan biochar segera setelah pirolisis. Permukaan mengikuti kondensat pirolisis dapat mencakup senyawa yang larut dalam air seperti asam, alkohol, aldehida, keton dan gula yang mudah dimetabolisme oleh mikroba tanah. Namun, tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis, mereka mungkin juga mengandung senyawa seperti hidrokarbon aromatik polisiklik, Kresol, xylenols, formaldehida, aldehid, akrolein dan senyawa karbonil beracun lainnya yang dapat memiliki aktivitas bakterisida atau fungisida. Ogawa (1994) dan Zackrisson *et al.*, (1996) telah menunjukkan bahwa zat ini dapat menjadi C dan sumber energi bagi mikroba yang dipilih. Waktu pergantian substrat ini cenderung berada di urutan satu sampai dua musim dan, dengan demikian, tidak akan menentukan komposisi komunitas untuk waktu yang lama.

Kemampuan dalam dinamika adsorpsi unsur hara dan C yang mengandung substrat oleh biochar mungkin mengubah interaksi kompetitif antara mikroba dan perubahan struktur komunitas secara keseluruhan dan dinamika. Pietikäinen *et al.* (2000) mengeksplorasi kemampuan biochar terbuat dari *Empetrum nigrum*, biochar terbuat dari humus, karbon aktif dan batu apung untuk menyerap karbon organik terlarut dan mendukung populasi mikroba. Jenis dan ketersediaan substrat yang terkait dengan adsorben yang berbeda menyebabkan kolonisasi oleh komunitas mikroba yang berbeda. Perbedaan dalam komunitas permukaan mungkin, pada gilirannya, menghasilkan perubahan dalam tersedianya unsur hara untuk tanaman dan siklus unsur hara, secara umum, di tanah yang ditambahkan adsorben.

VI. Kandungan Unsur Hara Biochar

Kondisi operasional pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisika-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan unsur hara dalam biochar setiap tanaman. Biochar berasal dari kotoran dan hewan-produk bahan baku relatif kaya unsur hara ¹²³ bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Namun, biochar secara umum mungkin lebih penting digunakan untuk modifikasi tanah dan transformasi hara dan kurang begitu sebagai sumber utama unsur hara (DeLuca *et al.*, 2009).

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan unsur hara, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6% ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400-800 °C, (Bagreev *et al.*, 2001). Studi lain melaporkan efek yang sama pada kandungan nitrogen di kedua biochar kayu dan herba. Nitrogen secara bertahap dilepaskan dari sampel char, mulai dari 400 °C dan terus berlanjut sampai ke 750 °C, dimana waktu sedikit lebih dari setengah nitrogen awal (Lang *et al.*, 2005). Selain hilangnya sebagian nitrogen, penurunan juga ditemukan pada ketersediaan nitrogen yang tersisa untuk tanaman (Bagreev *et al.*, 2001). Penjelasan untuk ini mengusulkan bahwa sisa nitrogen yang dimasukkan ke dalam matrik karbon, membatasi ketersediaan nitrogen dalam biochar yang dihasilkan ⁶ (Bagreev *et al.*, 2001; Chan & Xu., 2009; Macias & Arbestain, 2010).

Chan *et al.* (2009), melaporkan atribut positif dari biochar adalah unsur hara yang disediakan baik secara langsung dengan memberikan unsur hara untuk tanaman atau secara tidak langsung dengan meningkatkan kualitas tanah, dengan konsekuensi dalam peningkatan efisiensi penggunaan pupuk. Sebagai ukuran langsung dari nilai hara biochar bukan kandungan hara total melainkan hara tersedia yang merupakan pertimbangan penting. Kandungan unsur hara total bukan merupakan indikator yang tepat dari ketersediaan unsur hara, hanya sebagian kecil dari kandungan total hara yang segera tersedia atau mudah dikonversi menjadi bentuk yang tersedia untuk penyerapan oleh tanaman (Keeney, 1982).

Contoh dari unsur hara langsung dari biochar adalah kemampuannya untuk mempertahankan unsur hara dalam tanah dan karena itu mengurangi pencucian hara sehingga terjadi peningkatan serapan hara. Menurut Glaser *et al.* (2001), salah satu alasan kemampuan tanah Terra Preta Amazon ditandai dengan tingginya kandungan biochar seperti karbon *pyrogenic* (C), menyebabkan kesuburan tanah yang tinggi (dibandingkan dengan tanah subur yang berdekatan) adalah kemampuannya untuk mempertahankan unsur hara. Contoh lain dari nilai hara tidak langsung biochar adalah perbaikan terhadap hambatan tanah dalam membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman (misalnya penggunaan kapur untuk mengatasi keasaman tanah, dengan hasil peningkatan efisiensi penggunaan pupuk dan peningkatan produksi tanaman).

Biochar yang diproduksi dari biomassa diharapkan mengandung karbon yang tinggi dan mengandung berbagai hara makro dan mikro. Komposisi biochar tergantung pada sifat dari bahan baku dan kondisi pirolisis. Tinjauan literatur telah mengungkapkan bahwa hanya sedikit sekali informasi yang tersedia mengenai sifat hara biochar. Sebagian besar penelitian tentang pirolisis biomassa telah difokuskan pada energi dan kualitas bahan bakar daripada biochar sebagai amandemen tanah. Selanjutnya, informasi tentang kandungan hara dan sifat biochar tidak selalu digunakan dalam penelitian agronomi dalam pelaporan hasil eksperimen, sehingga sulit untuk menilai agro-ekonomi dari biochar. Keseluruhan komposisi elemental C, nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K), P tersedia dan mineral N serta pH biochar seperti yang tercatat dalam literatur oleh berbagai penelitian.

Hal yang paling mencolok adalah variabilitas yang tinggi dari semua parameter, kecuali pH. Dalam kasus pH, data menunjukkan bahwa biochar digunakan sebagai amandemen tanah dalam penelitian sebelumnya biasanya alkali ($pH > 7,0$). Namun, biochar dapat diproduksi di hampir semua pH antara 4 dan 12 (Lehmann, 2007) dan dapat menurunkan ke nilai pH 2,5 setelah inkubasi jangka pendek empat bulan pada $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Cheng *et al.*, 2006). Kandungan karbon berkisar antara 172 g kg^{-1} dan 905 g kg^{-1} (koefisien variasi, $CV = 106,5\%$). Rentang yang lebih besar dalam N total ($1,8 - 56,4\text{ g kg}^{-1}$), jumlah P ($2,7 - 480\text{ g kg}^{-1}$) dan total K ($1,0 - 58\text{ g kg}^{-1}$), semua dengan CV 100%. Variabilitas dapat dikaitkan dengan bahan baku yang berbeda dan kondisi yang berbeda di mana berbagai biochar diproduksi. Pengaruh bahan baku sangat jelas dalam kandungan total P yang lebih tinggi ditemukan pada biochar yang diproduksi dari bahan baku yang berasal dari kotoran hewan (limbah lumpur dan broiler) dibandingkan dari tanaman (misalnya kayu). Demikian pula, N total dari limbah lumpur (64 g kg^{-1} ; Bridle dan Pritchard, 2004) jauh lebih tinggi daripada yang berasal dari nabati murni (misalnya limbah hijau) ($1,7\text{ g kg}^{-1}$; Chan *et al.*,

2007b). Dibandingkan dengan bentuk organik lain yang biasa digunakan dalam pertanian, baik N total dan kandungan P biochar mencakup rentang yang lebih luas daripada yang dilaporkan untuk pupuk organik. Penting untuk dicatat bahwa jenis bahan bakuyang sama dapat menghasilkan biochar sangat berbeda. Sebagai contoh, Chan et al. (2007b) melaporkan jumlah kandungan N sebesar 20 g kg⁻¹ untuk biochar dihasilkan dari sampah unggas dibandingkan dengan 7.5 g kg⁻¹ dan 6.0 g kg⁻¹ untuk dua biochar yang terbuat dari sampah unggas yang berbeda dilaporkan oleh Lima dan Marshall (2005). Perbedaan yang besar seperti N total adalah kualitas sampah unggas yang berbeda atau dari kondisi pirolisis berbeda. Suhu yang lebih tinggi (700°C) digunakan oleh Lima dan Marshall (2005) dibandingkan dengan 450°C dilaporkan oleh Chan et al (2007b). Informasi ini menunjukkan kondisi selama pirolisis menentukan sampai batas yang signifikan kandungan N melalui penurunan N lebih besar pada suhu pirolisis yang lebih tinggi.

6.1. Kandungan Total Unsur

Khususnya unsur hara organik yang terikat seperti N dan belerang (S) tidak selalu mencerminkan ketersediaan hara aktual untuk tanaman. Sangat sedikit data tentang kandungan hara yang tersedia dalam biochar yang ditemukan dalam literatur. Dari data terbatas yang tersedia, mineral N sangat rendah dan P tersedia sangat bervariasi. Meskipun N total tinggi 6,4%, biochar dihasilkan dari limbah lumpur ditemukan memiliki N mineral (amonium-N⁺, nitrat-N) bahkan setelah 56 hari inkubasi (Bridle dan Pritchard, 2004). Demikian pula, mineral N ditemukan <2 mg kg⁻¹ untuk limbah hijau dan arang kotoran unggas dengan N total masing-masing 1.7 mg kg⁻¹ dan 20 mg kg⁻¹ (Chan et al., 2007b). Sebaliknya, K tersedia dalam biochar biasanya tinggi dan peningkatan penyerapan K sebagai hasil dari aplikasi biochar telah sering dilaporkan (Lehmann et al., 2003b). Rasio C/N biochar bervariasi antara 7-400, dengan rata-rata 67. Rasio ini sering digunakan sebagai indikator kemampuan substrat organik untuk mineralisasi dan pelepasan N anorganik ketika diaplikasikan ke tanah. Umumnya, rasio C/N organik substrat kurang dari 20 digunakan sebagai batas kritis atas imobilisasi N oleh mikroorganisme, terjadi karena N diaplikasikan dengan substrat tidak tersedia bagi tanaman. Kompos dengan C/N rasio di atas 25-30 mengurangi N anorganik. Berdasarkan nilai-nilai ini, mengingat C/N rasio sangat tinggi, sebagian besar biochar menyebabkan imobilisasi N dan mungkin menginduksi kekurangan N dalam tanaman bila diterapkan pada tanah saja. Namun, ada ketidakpastian jika kriteria yang sama dapat langsung diterapkan untuk biochar. C/N rasio Terra Preta tanah biasanya lebih tinggi daripada Ferralsol yang berdekatan, tetapi cenderung memiliki N yang lebih

baik. Sebagian besar biochar terdiri dari C organik sangat recalcitrant, yang tidak mudah termineralisasi, imobilisasi N diabaikan meskipun C/N rasio tinggi. Penerapan biochar mungkin mengakibatkan penurunan serapan N, seperti yang ditunjukkan dalam beberapa penelitian (misalnya Lehmann *et al.*, 2003b, Rondon *et al.*, 2007). Ada kemungkinan karena sebagian kecil dari biochar baru diproduksi yang relatif mudah dimineralisasi, tetapi dapat menyebabkan immobilisasi N karena rasio C/N-nya tinggi. Namun, sebagian besar sisa C organik (dengan lebih tinggi C/N) tidak menyebabkan reaksi imobilisasi karena tingkat tinggi dari perlawanan biologis.

Dari 16 biochar yang dibuat dari biomassa tanaman yang berbeda serta limbah unggas, P tersedia diekstrak bikarbonat ditemukan berkisar antara 1-15 mg kg⁻¹ dan 11.600 mg kg⁻¹ (Chan *et al.*, 2007b). Tingkat P tersedia lebih tinggi ditemukan di biochar yang dihasilkan dari limbah unggas dibandingkan dari biomassa tanaman. Namun, kandungan logam berat yang tinggi telah dilaporkan pada biochar dihasilkan dari berbagai bahan (misalnya limbah lumpur dan limbah penyamakan kulit) (Bridle dan Pritchard, 2004). Konsentrasi tinggi dari tembaga (Cu), seng (Zn), kromium (Cr) dan nikel (Ni) dalam biochar dihasilkan dari limbah lumpur. Biochar dihasilkan dari limbah penyamakan kulit bisa sangat tinggi dalam Cr (Muralidhara, 1982) sebagai logam ini dapat membuat 2% dari total berat kering limbah. Cr ditemukan untuk mengikat bahan organik di biochar dalam bentuk kompleks trivalen dan dapat dipulihkan oleh resapan dengan asam sulfat encer (Muralidhara, 1982). Sedikit yang diketahui tentang ketersediaan logam ini berpotensi beracun.

Beberapa dari biochar memiliki konsentrasi karbonat yang cukup tinggi, yang berharga sebagai bahan pengapuran untuk mengatasi keasaman tanah. Chan *et al.* (2007b) melaporkan kandungan karbonat kurang dari 0,5-33% untuk berbagai biochar dihasilkan dari bahan baku dan kondisi yang berbeda. Tidak ada hubungan langsung antara nilai pengapuran dan pH biochar. Dari data yang ada, tidak ada tingkat optimum aplikasi biochar dapat diperoleh karena variabilitas besar dalam karakteristik biochar. Glaser *et al.* (2002), menyimpulkan bahwa tingkat aplikasi optimal biochar harus ditentukan untuk setiap jenis tanah dan jenis tanaman.

6.2. Unsur Hara Yang Tersedia

Dalam arti yang paling umum, unsur hara yang tersedia adalah sebagian dari unsur atau senyawa yang dapat diasimilasi oleh tanaman yang tumbuh. Di tanah, berbagai

ekstraktan (air, 1M KCl, 0.5M K₂SO₄, NH₄OAc pada pH 7, Morgan, Mehlich-III, Mehlich-I, Bray, Olsen, DTPA, dll) telah digunakan untuk mengkorelasikan unsur hara yang diekstrak dengan serapan hara tanaman. Pendekatan ini telah digunakan untuk membedakan elemen yang mungkin tersedia dari biochar.

Meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan hasil yang beragam dalam hal status unsur hara yang tersedia dalam biochar. Meningkatkan suhu pirolisis telah terbukti menyebabkan hasil panen yang optimal. Mengingat konsentrasi P di biochar kayu lunak, sekitar 145 Mg ha⁻¹ akan diperlukan untuk memasok P bagi kebutuhan tanaman. Sebagai perbandingan, biochar sampah yang berisi tujuh kali lebih banyak P tersedia, perlu diterapkan sekitar 20 mg ha⁻¹. Nilai ini mungkin masih dianggap tidak masuk akal untuk produksi pertanian. Perbandingan antara biochar *hazelnut* dan limbah pabrik kertas dalam hal penyediaan K tersedia. Rata-rata konsentrasi K tersedia K untuk biochar limbah *hazelnut* dan papermill masing-masing 890 dan 20,800 mg kg⁻¹. Mempertimbangkan media tanah irigasi untuk nilai uji K jagung di South Carolina menyarankan bahwa 67 kg dari K₂O ha⁻¹ akan diperlukan oleh tanaman.

6.3. pH dan Pengapuran

Biochar digunakan untuk memperbaiki tanah biasanya alkalin yang mungkin memiliki efek menaikkan pH tanah. Namun, tidak semua biochar adalah basa. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann, 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa meningkatkan suhu pirolisis dapat meningkatkan pH dari beberapa biochar. Telah ditemukan bahwa peningkatan suhu pirolisis dari 310 sampai 850 °C, biochar dihasilkan dari ampas tebu.

Suhu pirolisis memiliki dampak pada pH biochar. Secara khusus, meningkatnya suhu pirolisis menghilangkan fungsi asam kelompok karboksilat dan kadar abu meningkat (Novak *et al.*, 2009; 2012; Cantrell *et al.*, 2012). Enders *et al.* (2012), menunjukkan bahwa suhu pirolisis meningkat dari 300 ke 600 °C, pH meningkat pada kotoran sapi dan biochar berbasis biomassa kayu. Pada pirolisis suhu yang lebih besar, unsur hara dalam bentuk mineral atau garam (seperti KOH, NaOH, MgCO₃, CaCO₃, garam logam organik) terpisah dari matrik organik padat, sehingga nilai pH tinggi (Cao dan Harris, 2010). Karena pH, biochar telah digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah asam (Yuan dan Xu, 2011), sehingga bisa berfungsi sebagai agen pengapuran. Efek pengapuran mungkin kuantitas produk lapang, biochar ekuivalen dengan kalsium karbonat (CCE, nilai biochar telah terkait

dengan kuantitas setara CaCO_3). Meningkatkan suhu pirolisis akan meningkatkan CCE biochar. Efek ini telah digambarkan oleh beberapa studi (Hass *et al.*, 2012). Selain itu, mengaktivasi uap elevasi selama pirolisis dapat meningkatkan pH biochar serta kalsium karbonat setara (CCE) dibandingkan dengan karakter biochar non-aktif (Hass *et al.*, 2012).

6.4. Retensi Hara

Biochar dapat mempertahankan unsur hara melalui beberapa mekanisme termasuk adsorpsi elektrostatis dan retensi unsur hara yang larut dalam air (yaitu, fiksasi; Lehmann *et al.*, 2003). Lebih khusus, kemampuan beberapa biochar untuk mempertahankan unsur hara tersebut berkaitan dengan luas permukaan yang besar, kuantitas kelompok fungsional dan porositas yang besar. Luas permukaan dan porositas di biochar dapat sangat bervariasi tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis. Biochar kayu (sebagian besar terdiri dari *sweetgum* dan *ek chip*) memiliki luas permukaan spesifik lebih besar dibandingkan dengan biochar kayu lunak (yang sebagian besar terdiri dari *yellow chip* rendah dan pinus), masing-masing 242 dibanding 159 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$. Namun ketika rata-rata data biochar di semua kayu dan kayu lunak diterbitkan pada tahun 2012, sedikit ada perbedaan antara kedua data. Bahkan, sulit untuk menarik kesimpulan sehubungan dengan luas permukaan biochar berdasarkan hanya dari bahan baku. Dengan demikian, sulit untuk menarik kesimpulan dari retensi hara berdasarkan bahan baku.

Namun, luas permukaan spesifik cenderung meningkat dengan suhu pirolisis seperti yang digambarkan oleh berbagai penelitian (Lu *et al.*, 2012; Cantrell *et al.*, 2012; Chen *et al.*, 2012; Hass *et al.*, 2012; Shen *et al.*, 2012) dan dapat menyebabkan penyimpanan unsur hara yang lebih besar. Peningkatan luas permukaan spesifik dengan suhu pirolisis yang paling sering dikaitkan dengan kedua perubahan fisik dan kimia dalam biochar tersebut. Diameter sel pori berkurang, pori-pori internal yang muncul dan selanjutnya meningkatkan luas permukaan. Selain itu, adalah mungkin bahwa pada pirolisis suhu rendah yang terjadi pori mikro; dengan demikian, menghasilkan area permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan biochar suhu yang lebih tinggi di mana penguapan menyebabkan peningkatan luas permukaan (Kloss *et al.*, 2012). Chen *et al.* (2008), menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis menghilangkan H dan O yang mengandung gugus fungsional, sehingga menyebabkan bertambahnya area permukaan biochar. Peningkatan suhu pirolisis mengurai selulosa dan lignin, juga menyebabkan peningkatan luas permukaan. Seiring bertambahnya luas permukaan spesifik (misalnya,

Borchard *et al.*, 2012b). Proses tersebut menyebabkan ukuran pori berkurang dan luas permukaan meningkat yang mungkin menyebabkan peningkatan retensi hara. Pirolisis cepat dibandingkan dengan pirolisis lambat, dalam hal luas permukaan biochar, satu hal yang mungkin menganggap bahwa biochar pirolisis cepat akan berisi luas permukaan yang lebih besar dan dengan demikian menunjukkan lebih besar retensi hara. Memerlukan awal ukuran bahan baku partikel yang lebih kecil untuk memperlambat pirolisis. Namun, hal ini tidak jelas bahwa awal ukuran partikel lebih kecil berpengaruh pada luas permukaan spesifik. Biochar pirolisis cepat memiliki area permukaan rendah ($< 8.0\text{m}^2\text{ g}^{-1}$; Boateng, 2007) dibandingkan dengan memperlambat pirolisis biochar. Hal ini kemungkinan disebabkan transformasi fisika-kimia lengkap selama pirolisis cepat.

6.5. Kapasitas Tukar Kation (KTK) Biochar

KTK biochar dikembangkan jika produk terkena oksigen dan air, menciptakan kelompok permukaan fungsional (Chan dan Xu, 2009). Mirip dengan tanah, KTK biochar mewakili kemampuannya untuk penyerapan elektrostatis atau menarik kation. Meskipun biochar berbasis organik dan karena itu tergantung pH, KTK seperti bahan organik tanah. Bertambahnya suhu pirolisis cenderung menyebabkan penurunan KTK; Fenomena ini diamati oleh Lin *et al* (2012). Hal ini disebabkan penghilangan kelompok fungsional organik (yaitu, materi yang lebih mudah menguap) di suhu pirolisis yang lebih besar (Gaskin *et al*, 2008; Kloss *et al*, 2012). Memang, peningkatan suhu pirolisis meningkatkan dekomposisi lignin dan selulosa dalam bahan baku (Novak *et al.*, 2009) menyebabkan hilangnya kelompok fungsional. Dengan demikian, potensi terjadinya retensi hara awal akan lebih rendah bila biochar dibuat dan dibandingkan dengan suhu pirolisis rendah. Namun, retensi hara juga mungkin merupakan fungsi dari oksidasi jangka pendek dan jangka panjang setelah biochar dimasukkan ke dalam lingkungan.

Penelitian khusus serapan unsur hara telah dilakukan pada Cu, NH_3 dan NH_4 . Borchard *et al.* (2012), menyarankan bahwa kelompok fungsional yang mengandung oksigen dalam biochar bertanggung jawab untuk keseluruhan penyerapan. Cu ditemukan berinteraksi dengan kimia biochar dan interaksi fisik (misalnya, jerapan) diabaikan. Tanggapan serupa telah diamati untuk Cr pada sabut kelapa biochar. Sebagian Cu terikat dalam biochar melalui kelompok fungsional ligan organik, namun beberapa presipitasi karbonat / oksida tidak terjadi. Uchimiya *et al.* (2012b), menunjukkan penghilangan kelompok alifatik dan N-mengandung gugus fungsional hetero aromatik dengan suhu

pirolisis tinggi, yang berkorelasi positif dengan retensi Cu di biochar berbasis kotoran. Penyerapan senyawa nitrogen dengan biochar juga telah disarankan. Ding *et al.*, (2010) mencatat bahwa penyerapan NH_4 ke biochar terjadi terutama melalui pertukaran ion, kekuatan coulomb, fiksasi serapan kimia amonia atau asosiasi dengan kelompok S-fungsional. Disamping karbon stabil, Unsur hara makro dan mikro adalah komponen paling utama dalam biochar (Lehmann *et al.*, 2011), meskipun, jumlah dan ketersediaan unsur hara bervariasi berdasarkan bahan baku dan kondisi pirolisis. Dengan ²⁰⁹memberikan tambahan unsur hara ke dalam tanah, dan akibatnya mempengaruhi serapan hara tanaman, aplikasi biochar dapat mengubah kemampuan kompetitif dari spesies tanaman tertentu. Secara khusus, spesies polong telah terbukti manfaat dari perubahan biochar (Rondon *et al.*, 2007). Misalnya, penambahan biochar, identik dengan yang digunakan dalam penelitian ini, ke padang rumput yang kaya spesies di Belanda menghasilkan hampir tiga kali lipat peningkatan dalam proporsi biomassa dari kacang-kacangan (semanggi terutama merah, *Trifolium pratense*) setelah satu musim tanam.

Beberapa mekanisme telah diusulkan untuk menjelaskan kemampuan kompetitif dari kacang-kacangan dengan biochar (Lehmann dan Rondon, 2006). Misalnya, imobilisasi N oleh komunitas mikroba telah ditemukan setelah penambahan arang ke Ferralsol (Lehmann *et al.*, 2003). Selain pengurangan N tersedia, biochar dimediasi peningkatan pH tanah (Jeffery *et al.*, 2011). Biochar sebagai amandemen tanah untuk perbaikan kesehatan tanah melalui fisik tanah yang berpotensi meningkatkan kesuburan kimia. Biochar terdiri dari struktur berpori, karbon aromatik stabil yang sangat tahan terhadap degradasi kimia dan mikroba (Glaser *et al.*, 2001). Dengan demikian, mampu eksekusi karbon di tanah (Rondon *et al.*, 2005). Seperti amandemen biochar dapat mempengaruhi populasi mikroba tanah dan aktivitasnya, penerapan tingkat biochar dan karakteristik tanah itu sendiri perlu penelitian untuk memantau tanggapan di tanah dengan perlakuan biochar (Lehmann *et al.*, 2011). Sementara biochar memiliki rasio karbon dan nitrogen tinggi (C/N rasio), membuatnya menjadi rendah sumber unsur hara. Biochar memiliki luas permukaan yang tinggi yang dapat meningkatkan KTK, pH, retensi hara, dan kapasitas memegang air, terutama di tanah bertekstur berpasir (Lehmann *et al.*, 2006).

Kapasitas biochar untuk mengubah tanah akan tergantung pada jenis dan tingkat biochar dan dampaknya dalam skala waktu yang diberikan (Unger *et al.*, 2011). Perubahan biochar dan luas permukaan yang tinggi sering berkorelasi dengan peningkatan KTK yang dapat meningkatkan ketersediaan dan penggunaan efisiensi unsur hara di beberapa tanah tergantung pada spesifikasi biochar. Dengan demikian, KTK tanah rendah seharusnya yang

paling terkena dampak. Juga, biochar berpotensi dapat meningkatkan pH tanah, yang kemudian banyak berpengaruh pada transformasi hara dan kemampuannya untuk tanaman, khususnya di tanah asam. Namun, pH tanah dapat meningkat atau menurun tergantung pada pH dan kandungan kapur dari biochar sendiri (Lehmann *et al.*, 2011). Secara umum, biochar dan amandemen organik lainnya yang ditambahkan ke tanah harus meningkatkan unsur hara tersedia bagi rizosfer tanaman (Steiner *et al.*, 2007). Biochar telah terbukti secara signifikan meningkatkan hasil panen dan mutu yang baik melalui peningkatan pasokan unsur hara (Steiner *et al.*, 2007, Unger *et al.*, 2011). Oleh karena itu, memahami interaksi antara tingkat biochar dan komunitas mikroba di dalamnya diperlukan untuk model yang lebih baik dari efek biochar dan implikasinya pada fungsi tanah. Hal ini juga diperlukan dalam berbagai jenis tanah sebagai hasil sebelumnya yang menyarankan tanah miskin adalah yang paling ditingkatkan dengan penambahan biochar (Atkinson *et al.*, 2010).

6.6. Kapasitas Pertukaran Ion

Kapasitas retensi hara biochar (dan tanah) bergantung pada kapasitas pertukaran kation dan kapasitas pertukaran anion (Chan & Xu., 2009). Kation (bermuatan positif ion) dan anion (ion bermuatan negatif) tertarik dengan muatan berlawanan. Unsur hara tanaman seperti kalsium, kalium, fosfor, dan nitrogen ada di larutan tanah; terutama sebagai kation dan anion dalam beberapa kasus. Pada tanah, partikel kecil, seperti humus dan tanah liat, membawa muatan negatif dan karena itu menarik kation, sedangkan anion relatif bebas bergerak dalam larutan tanah dan keduanya bebas tersedia untuk diserap oleh tanaman dan untuk pencucian. Kapasitas tukar kation menentukan kemampuan tanah untuk menahan kation dan, sebagai aturan umum, semakin tinggi kapasitas pertukaran kation, tanah semakin subur.

Biochar memiliki kapasitas pertukaran anion yang cukup dan karena itu dapat menyerap anion unsur hara (seperti nitrat dan fosfat). Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600 °C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al.*, 2007; Lehmann, 2007a; Navia & Crowley, 2010). Temuan ini akan menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit, sementara kapasitas tukar anion mereka adalah substansial.

Kapasitas pertukaran kation biochar tinggi memiliki kemampuan untuk menyerap

logam berat dan kontaminan organik seperti pestisida dan herbisida dari lingkungan (Navia & Crowley., 2010). Penambahan biochar untuk tanah pertanian sebagai sebuah amelioran tanah yang diperkirakan mempengaruhi efektivitas bahan kimia pertanian, seperti herbisida dan pestisida (Jones *et al.*, 2011a; Kookana, 2010; Smernik, 2009). Efek ini perlu dipahami sebelum aplikasi luas dari biochar untuk tanah pertanian.

VII. Efek Biochar Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman

Pengelolaan hara dengan bahan organik merupakan salah satu upaya untuk mengoptimalkan lahan kering. Bahan organik tanah merupakan faktor penting yang menentukan kesuburan dan produktivitas tanah. Hasil-hasil penelitian telah menunjukkan bahwa penggunaan bahan organik dapat meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas tanaman. Reaktivitas biochar dan atau pupuk organik di dalam tanah dapat bervariasi dalam mempengaruhi kesuburan tanah. Penggunaan bahan organik yang bersifat mudah maupun sulit dilapuk sebagai alternatif yang memiliki keuntungan masing-masing, baik sebagai penyedia unsur hara maupun pembenah tanah. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan kemampuan tanah menahan air, kelembaban tanah, pH tanah, penyediaan unsur hara, efisiensi pemupukan dan memperbaiki agregasi tanah. Beberapa hasil penelitian menunjukkan manfaat penggunaan, seperti aplikasi 20 t ha⁻¹ biochar serasah jagung dan 40 t ha⁻¹ serasah jagung meningkatkan 242,95% P tersedia dan 10,4% KTK tanah (Alfisol) di lahan kering Malang Selatan. Pemberian 20 t ha⁻¹ biochar serasah jagung menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%). Tinggi tanaman jagung berumur 49 HST berkisar 71,13 dan 92,90 cm (Sonia *et al.*, 2014).

Pengaruh amandemen biochar terhadap produktivitas jagung sebelumnya telah terbukti meningkatkan produktivitas tanaman dengan meningkatkan sifat fisik dan biokimia tanah yang dibudidayakan (Asai *et al.*, 2009; Mayor *et al.*, 2010b.). Tanaman menanggapi perubahan biochar tergantung pada sifat kimia dan fisika dari biochar, kondisi iklim, kondisi tanah dan jenis tanaman (Zwieten *et al.*, 2010; Yamato *et al.*, 2006; Gaskin *et al.*, 2010; Haeefe *et al.*, 2011). Asai *et al.* (2009) melaporkan penurunan hasil padi gogo (*Oryza sativa* L.) berikut penerapan amandemen biochar saja tanpa pemupukan N dalam tanah yang kekurangan N. Namun dalam Ultisol terdegradasi (asam, sangat lapuk dan tanah yang miskin hara) dari Kenya, Kimetu *et al.* (2008) melaporkan hasil jagung kumulatif untuk menggandakan setelah aplikasi biochar diulang tiga kali dari 7 t ha⁻¹ lebih dari 2 tahun. Namun, Mayor *et al.* (2010b) menunjukkan tidak ada perubahan dari produksi jagung pada tahun pertama dan peningkatan yang signifikan dalam 3 tahun berikutnya yang asalnya dosis tunggal biochar kayu pada 20 t ha⁻¹ di sabana Kolombia Oxisol (mirip sifat kimia untuk Ultisol). Dalam penelitian ini, produksi jagung mengalami peningkatan sebesar 11,6% - 18,2% dengan pemupukan N dan 7% - 16% tanpa pemupukan N di bawah amandemen biochar masing-masing pada tingkat 20-40 t ha⁻¹. Peningkatan produksi jagung di tanah

dengan perlakuan biochar dapat dikaitkan dengan ketersediaan hara (Chan *et al.*, 2007; 2008; Zhang *et al.*, 2010) dan untuk memperbaiki sifat fisik tanah ditunjukkan oleh penurunan berat volume tanah. Namun meningkatnya hasil seperti ini tidak sebanding dengan tingkat amandemen biochar untuk ketersediaan N bisa menurun di bawah aplikasi biochar tinggi (Lehmann *et al.*, 2003) sebagai C/N rasio 15 dibandingkan 13. Dalam studi sebelumnya, peningkatan efisiensi penggunaan N pada produktivitas beras dan agronomi lebih tinggi ditemukan di sebuah tanah sawah kaya karbon organik tanah berikut aplikasi biochar pada tingkat 10 t ha⁻¹ dan 40 t ha⁻¹. Dalam penelitian ini dengan tanah berkapur yang miskin karbon organik tanah, efisiensi penggunaan N pada agronomi juga meningkat secara signifikan di bawah amandemen biochar. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amandemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009).

Peng *et al.* (2011) melaporkan bahwa biomassa jagung meningkat sebesar 64% (tanpa NPK) dan 146% (dengan NPK) setelah amandemen biochar pada tanah Ultisol. Aplikasi biochar dan atau pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah. Pengaruhnya tergantung pada kualitas biochar dan pupuk organik serta bisa lebih nyata pengaruhnya pada tanah yang telah sangat melapuk dan tidak subur. Liang *et al.* (2006); Oguntunde *et al.* (2008); Asai *et al.* (2009) melaporkan biochar dapat meningkatkan sifat kimia tanah (misal pH, KTK, kation) dan sifat fisik (seperti retensi air tanah dan konduktivitas hidrolis).

Banyak penelitian telah membuktikan bahwa penggunaan biochar dapat memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan hasil tanaman (Lehman *et al.*, 2003). Chan *et al.* (2008) dan Tagoe *et al.* (2008) menggunakan biochar berbahan baku kotoran ayam untuk memperbaiki pertumbuhan dan meningkatkan hasil tanaman. Penambahan unsur hara dengan menggunakan pupuk anorganik atau organik biasanya penting untuk produktivitas tinggi dan meningkatkan respon positif dari biochar. Manfaat dari biochar dalam meningkatkan hasil panen dan kualitas tanah telah dilaporkan (Iswaran *et al.*, 1980; Glaser *et al.*, 2002a). Disamping biochar sebagai sumber hara, aplikasi biochar saja dapat meningkatkan kadar NPK tanah yang sangat baik untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Hasil penelitian Widowati (2010) menunjukkan produksi biomassa tanaman jagung tidak berbeda diantara perlakuan yang dicoba baik dengan NPK (74 - 84 g/tanaman) maupun tanpa NPK (61 - 71 g/tanaman). Hasil ini konsisten dengan yang dilaporkan oleh Tagoe *et al.*, (2008), aplikasi biochar pupuk kandang ayam (dengan pirolisis pada suhu 450 °C selama 1 jam) dan sampah organik kota (suhu 500 °C selama 2 jam) dengan atau tanpa pupuk anorganik KCl (83 kg K/ha) dapat meningkatkan pertumbuhan, nodulasi, kadar

N dan P pada kacang-kacangan (kedelai dan kacang tunggak). Hal ini menunjukkan biochar sebagaimana pupuk organik yang dapat berfungsi sebagai penyedia hara karena biochar masih mengandung unsur hara.

Tanpa NPK, persamaan regresi produksi biomassa tanaman jagung = $17,1 - 1,76$ serapan N + $51,9$ serapan P + $50,3$ serapan K, sedangkan dengan NPK, produksi biomassa = $54,3 + 8,33$ serapan N + $10,4$ serapan P + $4,83$ serapan K. Tanpa NPK, semakin rendah serapan N maka produksi biomassa semakin tinggi akan tetapi yang dipupuk NPK menunjukkan semakin tinggi serapan N semakin tinggi produksi biomassa. Tanpa NPK, kebutuhan N tanaman disediakan oleh pelepasan N dari biochar maupun pupuk organik. N yang dilepaskan dapat digunakan selama pertumbuhan vegetatif tanaman jagung. Widowati (2009) melaporkan, dekomposisi dan mineralisasi bokasi pupuk kandang ayam dari alas kandang sistem *litter* pada kondisi tercuci di laboratorium sebesar $31,45 \text{ kg N/ha}$ (1 minggu), $10,091,6 \text{ kg N/ha}$ (4 minggu), dan $13.240,44 \text{ kg/ha}$ (8 minggu). Oguntunde *et al.* (2004) melaporkan hasil biji dan biomassa jagung meningkat masing-masing sebesar 91% dan 44% dari tanah di lokasi pembuatan biochar kayu dibanding kontrol. Lebih lanjut Oguntunde *et al.*, 2004 melaporkan tentang pengaruh produksi arang pada tekstur dan sifat kimia tanah dan hasil jagung di lapangan dengan tambahan pupuk NPK (15-15-15) sebesar 150 kg/ha . Hasil penelitian menunjukkan ada peningkatan yang signifikan pada pH tanah, kejenuhan basa, konduktivitas listrik, Ca tukar, Mg, K, Na dan P tersedia dalam tanah di lokasi pembakaran (14 bulan) dibandingkan dengan lokasi yang berdekatan (5 - 10 m). Peningkatan K tanah hingga 329% sedangkan C organik dan N total mengalami penurunan masing-masing sebesar 9,8% dan 12,8%. C organik dan N total sangat berkorelasi ($P < 0,01$) dan kedua parameter nyata ($P < 0,05$) tergantung pada mineral liat dalam tanah. Tekstur tanah juga diubah menjadi persentase pasir yang lebih tinggi dan persentase liat yang lebih rendah di lokasi produksi arang. Hasil biji dan biomassa jagung meningkat masing-masing sebesar 91% dan 44%. Aplikasi biochar sekam padi meningkatkan hasil jagung, kedelai dan kacang tanah di Indonesia. Glaser *et al.*, (2002) menyampaikan bahwa efek biochar dapat dikaitkan dengan peningkatan pH tanah dan kandungan unsur hara yang tersedia, peningkatan retensi hara oleh peningkatan kapasitas tukar kation (KTK), dan perbaikan dari sifat fisik tanah seperti retensi air tanah dan agregasi.

Aplikasi biochar bagas tebu dengan kandungan abu 65%, karbon 35%, dan memiliki pH 9 sebanyak 50 g/kg tanah ke tanah (perkebunan kopi, pH) meningkatkan pertumbuhan biomassa (40 hari) hingga lima kali lipat dan pada tanah yang kurang subur (bekas pekerjaan konstruksi) meningkat delapan kali lipat. Chan *et al.*, (2008) mencatat kenaikan hasil lobak

(*Raphanus sativus*) secara linier dengan penambahan biochar hingga 50 ton/ha dan tambahan pupuk N. Yamato *et al.*, (2006) menunjukkan bahwa hasil jagung dan kacang tanah secara signifikan lebih tinggi setelah aplikasi arang kulit dan pupuk (Char-NPK) dibandingkan dengan hanya pupuk (NPK). Khususnya jagung, hasil meningkat dua kali lipat. Widowati (2010) menyampaikan efek residu biochar menghasilkan produksi biomassa tanaman jagung kedua yang sama dengan residu pupuk organik lama dan lebih rendah dari tambahan pupuk organik baru yang sebelumnya telah diberi pupuk organik (efek *priming*).
Peningkatan efisiensi pemupukan sebagai akibat penggunaan biochar telah dilaporkan oleh Steiner *et al.*, (2008). Peningkatan efisiensi pemupukan terjadi sebagai akibat adanya KTK yang tinggi pada biochar sehingga mampu menyerap hara pada pupuk, dan selanjutnya memperkecil kehilangan hara karena pencucian. Selain itu biochar mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation, sehingga mampu menahan hilangnya kation dari tanah akibat pencucian hara (Novak *et al.*, 2007).

Biochar meningkatkan porositas tanah dan kapasitas penyangga kelembaban yang menghasilkan pertumbuhan tanaman dan akar yang lebih baik (Khishimoto dan Sigiura, 1985). Hasil penelitian Yamato *et al.*, (2006) menunjukkan bahwa penggunaan biochar dari kayu akasia dapat meningkatkan hasil tanaman jagung, kacang tunggak dan kacang tanah. Penggunaan biochar dari bahan limbah hasil pertanian telah terbukti, di samping meningkatkan hasil tanaman wortel, juga meningkatkan kandungan N (Chan *et al.*, 2007). Residu biochar secara mandiri maupun dikombinasi dengan pupuk K berbagai dosis dapat meningkatkan hasil jagung pada musim tanam kedua. Residu biochar meningkatkan ketersediaan unsur hara N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Na⁺ di dalam tanah setelah musim tanam jagung kedua (Widowati *et al.*, 2017).

VIII. Pengaruh Pemberian Biochar Terhadap Kesuburan Tanah

Pengelolaan lahan kering dengan menggunakan bahan organik yang bersifat labil seperti pupuk organik berfungsi sebagai bahan sementasi yang meningkatkan agregasi tanah, sumber hara, dan menyediakan zat pengatur tumbuh tanaman yang memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman seperti vitamin, asam amino, auksin dan giberelin. Namun hingga kini dampak penggunaan pupuk organik secara berlanjut belum nampak. Karena bahan organik yang bersifat labil merupakan bahan organik yang mudah mengalami dekomposisi pada kondisi tropis. Tidak demikian dengan bahan organik yang bersifat stabil seperti biochar.

Pemberian biochar cukup satu kali aplikasi namun dapat memberi efek susulan dalam jangka panjang sehingga dapat mewujudkan pertanian berlanjut. Hasil penelitian Widowati (2012-2013) pada tanah Inceptisol menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang hanya 1 kali dapat mempertahankan hasil jagung selama tiga musim tanam meskipun tanpa penambahan pupuk SP36 dan KCl pada musim tanam kedua dan ketiga. Demikian pula hasil penelitian Widowati (2014-2015), penambahan biochar sebelum tanam pada Alfisol yang sedang mengalami degradasi telah menghasilkan jagung pipilan kering yang relatif tetap selama tiga musim tanam.

Pengelolaan kesuburan tanah tidak terbatas pada peningkatan kesuburan kimiawi, tetapi juga kesuburan fisik dan biologi tanah. Hal ini berarti bahwa pengelolaan kesuburan tanah tidak cukup dilakukan hanya dengan memberikan pupuk saja, tetapi juga perlu disertai dengan pemeliharaan sifat fisik tanah sehingga tersedia lingkungan yang baik untuk pertumbuhan tanaman, kehidupan organisme tanah, dan untuk mendukung berbagai proses penting di dalam tanah.

Penerapan teknologi pemupukan organik juga sangat penting dalam pengelolaan kesuburan tanah. Pupuk organik dapat bersumber dari sisa panen, pupuk kandang, kompos atau sumber bahan organik lainnya. Selain menyumbang hara yang tidak terdapat dalam pupuk anorganik, seperti unsur hara mikro, pupuk organik juga penting untuk memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Lahan kering akan mampu menyediakan airdan hara yang cukup bagi tanaman bila struktur tanahnya baik sehingga mendukung peningkatan efisiensi pemupukan.

Pengelolaan lahan kering dengan bahan organik yang bersifat labil telah sering dilakukan, namun penggunaan biochar yang bersifat stabil telah populer dalam dekade

terakhir. Karena struktur aromatiknya, karbon biochar lebih stabil daripada karbon dalam biomassa asli sehingga dapat menurunkan laju dekomposisi bahan organik. Penggunaan mulsa, kompos, pupuk kandang dapat meningkatkan kesuburan tanah, meski begitu dalam kondisi tropis, dimineralisasi sangat cepat (Tiessen *et al.*, 1994). Steiner *et al.*, (2007) mengemukakan bahan organik tanah (BOT) penting untuk kesuburan tanah karena mengandung 95% dari total nitrogen dan sulfur bersama dengan 20-75% dari fosfor dalam tanah, sumber penting dari energi dan unsur hara untuk mikroorganisme dan tanaman. BOT adalah jantung dari tanah sehingga keberadaannya tidak dapat diabaikan karena memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Biochar adalah produk yang kaya karbon yang diperoleh dengan memanaskan biomassa dalam sistem tertutup dibawah pasokan oksigen yang terbatas dimaksudkan sebagai bahan amandemen tanah untuk menyerap karbon dan meningkatkan kualitas tanah. Konversi biomassa menjadi biochar dan menggunakan biochar sebagai amandemen tanah sebagai alternatif selain kompos (Srinivasarao *et al.*, 2013). Pengaruh agronomi dengan penambahan biochar telah ditemukan di berbagai lintang dengan kesuburan tanah yang rendah (Biederman dan Harpole, 2013; Liu *et al.*, 2013). Aplikasi biochar juga meningkatkan penyimpanan air tanah (Wang *et al.*, 2016). Hal ini disebabkan oleh peningkatan kapasitas air kapiler tanah setelah aplikasi biochar sehingga menyebabkan peningkatan produktivitas budidaya tanaman, peningkatan aktivitas mikroba dalam tanah, dan tingkat yang lebih tinggi dari ketersediaan unsur hara, terutama P dan K (Biedermann dan Harpole, 2013). Kapasitas memegang air tanah (WHC) dan air yang tersedia (PAW) meningkat di tanah liat dan tanah lempung berpasir (Bruun *et al.*, 2014; Dugan *et al.*, 2010; Martinsen *et al.*, 2014). WHC meningkat sebesar 11% Pada biochar (9 t ha⁻¹) di tanah lempung berdebu, Finlandia Selatan (Karhu *et al.*, 2011). Peningkatan PAW karena dengan penambahan biochar memperbaiki struktur berpori (baik pori mikro dan meso) dan agregasi tanah (Obia *et al.*, 2016). Sifat kimia tanah juga diperbaiki seperti meningkatkan pH tanah (rasio Ca/Al yang lebih tinggi dan ketersediaan PO₄³⁻ dan kejenuhan basa meningkat); meningkatkan kapasitas retensi hara dan KTK tanah (Chan *et al.*, 2008; Liang *et al.*, 2006) dan dengan demikian mengurangi pencucian hara (Hale *et al.*, 2013; Martinsen *et al.*, 2014).

Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008; Generasi bioenergi (Laird, 2008; Lehmann, 2007); adsorpsi polutan organik dan anorganik serta meningkatkan kesuburan tanah. Efek kesuburan tanah telah dijelaskan dalam hal penambahan unsur hara dengan biochar, juga oleh perubahan biochar secara fisik

tanah, kimia atau sifat biologis (Kookana ²²¹ *et al.*, 2011; Oguntunde *et al.*, 2008; Thies dan Rilling, 2009). Namun, mekanisme di balik pengaruh hasil yang diamati tetap tidak jelas. Hipotesis untuk efek ini termasuk peningkatan efisiensi pupuk penggunaan dengan mengurangi hilangnya unsur hara melalui pencucian (Laird *et al.*, 2010) Atau peningkatan ketersediaan hara karena peningkatan aktivitas mikroba, seperti jamur mikoriza arbuskula (AMF) ⁴ (Warnock *et al.*, 2007). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa selain biochar ke tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan fiksasi nitrogen biologis Xavier *et al.* (BNF) ketika kacang-kacangan yang hadir (Rondon *et al.*, 2007). Namun, mekanisme di balik efek ini juga masih belum jelas. Fiksasi N biologis diperkirakan berkontribusi kira-kira $17,2 \times 10^7$ t nitrogen ke tanah secara global setiap tahun. Tanaman polongan telah diperkirakan berkontribusi sekitar setengah dari simbiosis BNF global diperkirakan $21,5 \times 10^6$ t. Ini menunjukkan bahwa BNF adalah layanan ekosistem penting untuk pertanian global dan pemahaman seperti kemungkinan dampak dari aplikasi biochar pada layanan ini sangat penting.

Biochar memiliki potensi besar untuk perbaikan tanah karena fisik, kimia, dan biologi yang unik dan interaksinya dengan tanah dan tanaman. Jika digunakan sebagai amandemen tanah, biochar dapat mengurangi dampak negatif yang mungkin timbul. Sementara penambahan biochar sebagian besar telah menunjukkan pengaruh yang netral, positif, atau negatif (ditinjau oleh Sohi *et al.*, 2010). Ini menunjukkan perlunya pemahaman yang komprehensif asal biochar, produksi, dan sifat fungsional.

8.1. Efek Biochar pada Sifat Fisik Tanah

¹ Potensi penggunaan biochar sebagai bahan amandemen untuk menjaga kesinambungan kesuburan dan produktivitas tanah di daerah tropis telah dilaporkan oleh Topoliantz *et al.* (2005). Sebagai bahan amandemen tanah, biochar telah terbukti dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Chan *et al.*, 2007). Telah banyak laporan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan pH tanah, dan meningkatkan KTK tanah (Liang *et al.*, 2006; Yamato *et al.*, 2006). ⁷³ Hasil penelitian yang dilakukan oleh Novak *et al.* (2007) menunjukkan potensi penggunaan biochar untuk memperbaiki kondisi lahan terdegradasi, terutama pada tanah pasir dan bersifat asam. Ruang pori yang tinggi pada biochar meningkatkan kapasitas tanah menahan air. Selain itu biochar ¹ mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation, sehingga mampu menahan hilangnya kation dari tanah akibat pencucian hara (Novak *et al.*, 2007).

Bobot isi tanah dari kombinasi biochar dan pupuk organik meningkat sangat nyata dibanding biochar saja. Peningkatan bobot isi tanah dari residu kombinasi biochar dan pupuk organik sebesar 12,69% dibanding biochar saja. Bobot isi tanah dari residu pupuk kandang baru meningkat sangat nyata dibanding pupuk kandang lama. Peningkatan bobot isi tanah dengan pemberian pupuk kandang baru yang sebelumnya sudah diberi pupuk kandang sebesar 18,90% dari 1,27 g/cm³ menjadi 1,51 g/cm³. Bobot isi tanah dari residu biochar tidak berbeda dari residu pupuk organik lama maupun baru (Widowati, 2010). Penambahan biochar ke tanah memiliki potensi untuk mengurangi kepadatan tanah (Gundale dan Deluca, 2006). Residu biochar, pupuk organik lama dan baru mempengaruhi bahan organik tanah pada tanaman jagung kedua. Bahan organik tanah mempengaruhi bobot isi tanah sebesar 90,1% (R²).

Bobot isi tanah yang meningkat akan mengurangi ruang pori di dalam tanah. Kondisi ini sangat jelas pada kombinasi biochar-pupuk kandang dibanding biochar saja. Peningkatan bobot isi tanah sebesar 12,68% akan menurunkan porositas tanah sebesar 17,61%. Hal ini menyebabkan total panjang total akar menurun masing-masing sebesar 6,2% dan 26,24%. Kombinasi biochar-pupuk kandang menurunkan kandungan bahan organik tanah. Kandungan bahan organik tanah yang menurun akan mempengaruhi porositas tanah dan kemandapan agregat tanah. Porositas tanah dari residu kombinasi biochar dan pupuk organik menurun secara nyata dibanding residu biochar saja. Residu kombinasi pupuk kandang dan biochar pupuk kandang maupun biochar sampah menghasilkan porositas masing-masing sebesar 37% dan 40% yang lebih rendah dari residu biochar, pupuk organik baru masing-masing sebesar 40 - 47%. Apabila pupuk kandang dikombinasi dengan biochar maka kemandapan agregat akan menurun sebesar 40,45% bila dibandingkan dengan biochar saja. Residu dari kombinasi biochar-pupuk kandang tidak meningkatkan sifat fisik tanah pada tanaman jagung kedua.

Penambahan bahan organik (pupuk kandang) akan meningkatkan pori total tanah dan akan menurunkan berat volume tanah. Bahan organik tanah pada awal penelitian sebesar 1,07%. Setelah aplikasi pupuk organik maupun biochar telah menaikkan bahan organik tanah berkisar 2,98% - 5,53% hingga 8 minggu. Bahan organik tanah hingga 16 minggu menunjukkan hasil berkisar 3,07% - 3,53%. Peningkatan bahan organik tanah dengan aplikasi pupuk organik maupun biochar akan meningkatkan porositas tanah. Bahan organik tanah dapat mempengaruhi porositas tanah sebesar 89,3% (R²). Porositas tanah pada awal penelitian sebesar 35,13% menjadi 36,93% - 53,23% setelah aplikasi pupuk organik maupun biochar pada percobaan pertama dan 44,37% - 45,70% pada percobaan residualnya. Adanya

tambahan pupuk organik baru yang sebelumnya telah diberi pupuk organik menunjukkan pengaruh yang sama terhadap porositas tanah jika dibandingkan dengan biochar yang hanya sekali aplikasi.

Bahan organik tanah merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah yang berperan sebagai bahan perekat antar partikel tanah untuk bersatu menjadi agregat tanah. Bahan organik tanah dari residu biochar, pupuk organik lama dan baru dapat mempengaruhi kemantapan agregat tanah sebesar 79,8% (R^2) (Widowati, 2010). Kemantapan agregat dari kompos baru meningkat sangat nyata dibanding residu kompos lama. Penambahan kompos baru meningkatkan kemantapan agregat sebesar 45,49% lebih tinggi daripada yang lama. Aplikasi arang limbah organik ke tanah meningkatkan sifat fisik tanah, peningkatan kesuburan tanah dan retensi hara (Sombroek *et al.*, 1993; Lehmann dan Rondon., 2005).

Sifat biochar yang sangat berpori hasil dari mempertahankan struktur dinding sel dari bahan baku biomassa. Berbagai macam ukuran pori biochar dalam area permukaan besar dan bobot isi rendah. Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.*, 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya, dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007). Biochar memiliki bulk density jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis ($\sim 0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah dari $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi total keseluruhan bulk density tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman (Brady dan Weil, 2004).

Peningkatan luas permukaan, porositas, dan bobot isi rendah dalam tanah mineral dengan biochar dapat mengubah retensi air, agregasi, dan penurunan erosi tanah (Piccolo dan Mbagwu, 1990; Piccolo *et al.*, 1996; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Retensi air tanah ditentukan oleh distribusi dan konektivitas dari pori-pori dalam matriks tanah, yang sebagian besar dipengaruhi oleh tekstur tanah, agregasi, dan kandungan bahan organik tanah (Brady dan Weil, 2004). Biochar memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dan porositas lebih besar relatif terhadap jenis lain bahan organik tanah, dan karena itu dapat memperbaiki tekstur tanah dan agregasi, yang meningkatkan retensi air dalam tanah. Ini mulai sifat fisik biochar terjadi pada berbagai skala dan mempengaruhi proporsi air daripada yang dapat dipertahankan. Kishimoto dan Sugiura (1985) memperkirakan luas permukaan bagian dalam dari charcoal terbentuk antara 400 dan 1000°C berkisar 200–400 $\text{m}^2 \text{ g}^{-1}$. Van Zwieten *et al.*

(2009) melaporkan luas permukaan biochar yang berasal dari limbah pabrik kertas dengan pirolisis lambat menjadi $115 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Sifat ini dapat saja berubah dari waktu ke waktu dengan pelapukan fisik, tetapi belum secara eksplisit meneliti sehingga mengakibatkan ketidakpastian yang terkait perubahan fisik yang bermanfaat dalam tanah.

Peningkatan retensi kelembaban akibat tidak langsung dari perubahan dalam agregasi dan struktur tanah setelah aplikasi biochar. Biochar dapat mempengaruhi agregasi tanah melalui interaksi dengan karbon organik tanah, mineral, dan mikroorganisme, namun karakteristik muatan permukaan dan perkembangan dari waktu ke waktu menentukan agregasi tanah pada efek jangka panjang. Glaser *et al.* (2002) melaporkan bahwa Anthroisol yang diperkaya dengan arang memiliki area permukaan tiga kali lebih tinggi dibandingkan Oxisol, dan memiliki peningkatan kapasitas lapang 18%. Tryon (1948) mempelajari efek dari arang pada persentase kelembaban yang tersedia di tanah tekstur yang berbeda dan menemukan respon yang berbeda diantara tanah. Pada tanah berpasir, penambahan arang meningkat kelembaban yang tersedia sebesar 18% setelah menambahkan 45% biochar (volume), sementara tidak ada perubahan yang diamati dalam tanah liat, dan kelembaban tersedia tanah menurun di tanah liat. Luas permukaan tinggi biochar dapat menyebabkan retensi air meningkat, meskipun efek tampaknya tergantung pada tekstur tanah awal. Peningkatan daya ikat air dengan penambahan biochar ini paling sering diamati pada tanah berpasir (Glaser *et al.*, 2002). Dampak dari penambahan biochar pada kadar air mungkin karena peningkatan luas permukaan relatif dengan yang ditemukan dalam tanah bertekstur kasar (Glaser *et al.*, 2002). Oleh karena itu, perbaikan dalam retensi air tanah dengan penambahan biochar hanya dapat diharapkan dalam tanah bertekstur kasar atau tanah dengan pori-pori makro dalam jumlah besar. Selain itu, sejumlah besar biochar perlu diaplikasikan ke tanah sebelum meningkatkan retensi air.

Biochar dapat digunakan secara luas sebagai agen untuk memperbaiki tanah, meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya, remediasi dan/atau proteksi melawan polusi lingkungan dan sebagai agen mitigasi gas rumah kaca (Lehmann & Joseph, 2015). Hasil-hasil penelitian terkini, mengindikasikan bahwa biochar memiliki porositas yang tinggi (Downie *et al.*, 2009), luas dan muatan permukaan yang tinggi sehingga dapat memperbaiki struktur tanah, bobot volume tanah, meningkatkan kapasitas tanah menyimpan air dan hara (Baronti *et al.*, 2014) dapat menambah unsur hara (Biederman & Harpole, 2013; Ding *et al.*, 2016), dan juga menjadi hunian yang aman dan nyaman bagi organisme tanah (Lehmann *et al.*, 2011). Lebih dari itu, biochar lebih stabil bertahan di dalam tanah dibandingkan dengan bahan pembenah tanah lainnya sehingga fungsinya di dalam tanah

bersifat jangka panjang (Wang *et al.*, 2016).

Respon tanaman terhadap biochar sangat bergantung kepada material dan cara pembuatan biochar (Major *et al.*, 2009). Kandungan mineral biochar juga akan bervariasi bergantung kepada material yang digunakan (Yao *et al.*, 2012). Biochar secara langsung memberikan efek pada tanaman kacang-kacangan seperti meningkatkan fiksasi N biologis (Rondon *et al.*, 2007; Mia *et al.*, 2014), meningkatkan toleransi kekeringan (pertumbuhan, efisiensi penggunaan air dan hubungan antara tanah-tanaman (emisi gas N₂O tanah) (Kammann *et al.*, 2011), dan meningkatkan potensial air daun (Baronti *et al.*, 2014). Pemberian biochar mampu meningkatkan ketersediaan air dalam tanah. Persentase pori air tersedia tertinggi terdapat pada pemberian jenis biochar tempurung kelapa sebesar 21,55% vol dan diikuti oleh pemberian jenis biochar sekam padi serta pori air tersedia terendah terdapat pada jenis biochar kayu. Persentase pori air tersedia tertinggi terdapat pada pemberian dosis biochar 45 t ha⁻¹ dan diikuti oleh pemberian dosis biochar 30 t ha⁻¹ dan 15 t ha⁻¹.

8.2. Efek Biochar pada Sifat Kimia Tanah

Perubahan signifikan dalam meningkatkan kualitas tanah termasuk pada pH, karbon organik, dan kapasitas tukar kation serta penurunan kekuatan tarik dan peningkatan kapasitas lapang pada tingkat yang lebih tinggi dari aplikasi biochar (> 50 ton/ha) (Chan *et al.*, 2007). pH tanah dari residu pupuk organik lama, baru berbeda sangat nyata dibanding biochar, kombinasi biochar dan pupuk kandang. Perbedaan yang sangat nyata antara pupuk organik lama dibanding biochar; antara pupuk organik baru dibanding biochar; antara biochar dibanding kombinasi biochar dan pupuk kandang; antara pupuk kandang lama dibanding pupuk kandang baru. Kompos lama berbeda nyata dibanding kompos baru. Pada awal sebelum tanam, pH tanah menunjukkan nilai 6,37. Efek Residu pupuk kandang lama dan pupuk kandang baru terhadap pH tanah menunjukkan hasil masing-masing 6,93 dan 6,73. Setelah melalui 2 kali masa tanam, aplikasi pupuk kandang menurunkan nilai pH. Efek Residu pupuk kompos dan kompos baru menunjukkan hasil masing-masing 7,1 dan 7. Biochar pupuk kandang dan biochar sampah masing-masing 7,1 dan 7,17. Kombinasi pupuk kandang dan biochar pupuk kandang maupun biochar sampah masing-masing 7,20 dan 7,37. Setelah 2 kali masa tanam, residu biochar dapat menghasilkan pH yang lebih baik daripada pupuk kandang. Peningkatan nilai pH tanah dengan penambahan pupuk kandang baru tidak lebih baik dari efek residu biochar dalam memperbaiki pH tanah. Efek residu pupuk

kandang lama menurunkan nilai pH (Widowati, 2010). Penambahan biochar ke tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah dan dengan demikian meningkatkan hasil panen pada lahan pertanian (Chan *et al.*, 2007). Efek pupuk dapat dijelaskan oleh stimulasi mikroorganisme tanah bahwa oleh karena itu mengarah ke peningkatan daur ulang unsur hara terjebak dalam residu biomassa. Fungsi pupuk tambahan didukung oleh retensi air meningkat dan kapasitas pertukaran kation disebabkan oleh luas permukaan besar dari biochar.

Bahan organik tanah merupakan sumber utama muatan negatif pada tanah tropis, pemeliharaan bahan organik tanah adalah penting untuk adsorpsi tukar kation. Setelah 4 bulan, KTK tanah dari residu pupuk kandang baru meningkat secara nyata dibanding pupuk kandang lama, sebesar 12,58%. KTK tanah dari residu kompos lama tidak berbeda dibanding kompos baru. KTK tanah dari pupuk organik lama maupun baru tidak berbeda dibanding biochar. KTK tanah dari residu biochar saja tidak berbeda dibanding residu kombinasi biochar dan pupuk kandang.

Penambahan pupuk organik maupun biochar akan meningkatkan muatan negatif tanah sehingga akan meningkatkan kapasitas tukar kation. Sumber muatan negatif berasal dari gugus karboksil (-COOH) dan fenolik (-OH). Sebelum penanaman, KTK tanah sebesar 34,02 me/100 g. Setelah 2 kali masa tanam, KTK tanah meningkat dengan aplikasi pupuk organik maupun biochar. Penelitian arang di tanah menunjukkan bahwa arang telah berpengaruh penting pada kapasitas tukar kation (Liang *et al.*, 2006). KTK tanah dari residu pupuk kandang lama maupun kompos lama dan kompos baru memberi pengaruh yang sama dengan residu biochar yaitu berkisar 36-38 me/100 g. Residu pupuk kandang lama dan penambahan pupuk kandang baru dapat meningkatkan KTK tanah menjadi 40,72 me/100 g. Residu dari kombinasi pupuk kandang lama dan biochar pupuk kandang maupun biochar sampah menghasilkan KTK tanah sebesar 38 me/100 g. Biochar mempunyai area permukaan yang tinggi, sangat berpori, bahan organik yang memiliki potensi untuk meningkatkan kapasitas memegang air, kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa ketika ditambahkan ke tanah (Bélanger *et al.*, 2004; Liang *et al.*, 2006). Luas permukaan, porositas, dan kepadatan muatan berhubungan dengan suhu pembentukan biochar (Gundale dan Deluca, 2006; Bornemann *et al.*, 2007).

KB tinggi sebagai petunjuk bahwa kation basa tidak banyak yang tercuci. Residu dari biochar meningkat sangat nyata dibanding residu pupuk organik lama (32,04%), baru (22,52%), maupun kombinasi biochar dan pupuk kandang (21,43%). Hal ini menunjukkan residu biochar menghasilkan KB yang lebih tinggi dari residu pupuk organik baru pada periode tanam kedua. Pengaruh residu biochar dikaitkan dengan konsentrasi kation basa

yang meningkat di dalam tanah (Gaskin *et al.*, 2008). Residu biochar pupuk kandang menghasilkan KB sebesar 70,33% yang lebih tinggi dari biochar sampah sebesar 65,67%. Pengaruh residu biochar menunjukkan KB yang lebih baik daripada residu pupuk organik yang ditambah pupuk organik baru maupun residu pupuk organik lama yang berkisar 48 - 58%. Residu dari kombinasi pupuk kandang lama dan biochar pupuk kandang maupun biochar sampah menghasilkan KB sebesar 53 - 59%. Ketersediaan K, Ca, dan Mg lebih tinggi dengan penambahan arang (Lehmann *et al.*, 2002). Penelitian lain melaporkan bahwa meningkatnya konsentrasi K, Ca, dan Mg pada pertumbuhan tanaman dengan perubahan kesuburan dan berbagai biochar (Rondon *et al.*, 2007; Steiner *et al.*, 2007; Topoliantz *et al.*, 2005). Selain biochar dapat meningkatnya jumlah unsur hara tersedia seperti N, P dan ion logam di dalam tanah (Tryon, 1948; Lehmann *et al.*, 2003; Gundale dan Deluca, 2006). Penambahan biochar untuk meningkatkan kapasitas tukar kation tanah (Glaser *et al.*, 2002), dan dapat menyebabkan kapasitas menahan air yang lebih besar meskipun secara umum menurunkan kepadatan massa (Tryon, 1948) serta peningkatan P tersedia dan kation dalam tanah.

Biochar memiliki potensi untuk meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Lehmann *et al.*, 2003). Ketersediaan hara dapat dipengaruhi oleh peningkatan kapasitas tukar kation, perubahan pH tanah, ataupun langsung kontribusi unsur hara dari biochar. Salah satu mekanisme potensial untuk peningkatan retensi hara dan pasokan hara setelah amandemen biochar. KTK meningkat hingga 50% dibandingkan dengan tanah yang tidak diamendemen (Lehmann, 2003; Liang, 2006; Tryon, 1948; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Biochar memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menyerap dan mempertahankan kation dalam bentuk tukar daripada bentuk-bentuk lain dari bahan organik tanah karena luas permukaan yang lebih besar, serta muatan negatif permukaan (Liang *et al.*, 2006). Penelitian telah menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam ketersediaan semua kation utama (Glaser *et al.*, 2002; Topoliantz *et al.*, 2005; Lehmann, 2003). Tryon (1948) menemukan peningkatan jumlah kation basis di tanah liat berpasir dan setelah menambahkan 45% arang kayu konifer. Selain itu, biochar yang baru diproduksi memiliki kapasitas pertukaran anion. Cheng *et al.* (2008) menemukan biochar menunjukkan kapasitas pertukaran anion pada pH 3,5 yang turun menjadi nol dari waktu ke waktu karena umur dalam tanah.

Biochar memiliki afinitas penyerapan tinggi untuk berbagai senyawa organik dan anorganik dan kemampuan retensi hara tinggi dibandingkan dengan bentuk lain dari bahan organik tanah (Nguyen *et al.*, 2004). Setelah ditambahkan ke dalam tanah, oksidasi permukaan abiotik dan biotik biochar yang akan meningkatkan gugus karboksil permukaan,

muatan negatif yang lebih besar, dan kemudian meningkatkan kemampuan untuk menyerap kation (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006). Hal ini juga menunjukkan kemampuan untuk penyerapan senyawa polar termasuk banyak kontaminan lingkungan. Kapasitas tukar kation biochar sangat bervariasi tergantung pada kondisi pirolisis di mana ia diproduksi. Kapasitas tukar kation lebih rendah pada suhu pirolisis rendah dan secara signifikan meningkat ketika diproduksi pada suhu tinggi (Lehmann, 2007). Biochar baru diproduksi memiliki sedikit kemampuan untuk mempertahankan kation sehingga KTK minimal (Cheng *et al.*, 2006, 2008), tetapi meningkat dengan waktu dalam tanah dengan oksidasi permukaan (Cheng *et al.*, 2006.). Ini mendukung temuan KTK tinggi diamati pada Anthroisol Amazon (Liang *et al.*, 2006).

Biochar dapat berfungsi sebagai agen pengapuran sehingga pH meningkat dan ketersediaan unsur hara untuk sejumlah jenis tanah yang berbeda (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann dan Rondon 2006). Konsentrasi karbonat biochar memfasilitasi pengapuran dalam tanah dan dapat meningkatkan pH tanah, baik tanah netral atau asam (Van Zwiiten *et al.*, 2007). Mbagwu dan Piccolo (1997) melaporkan pH berbagai tekstur tanah meningkat pH hingga 1,2 unit dari pH 5,4-6,6. Tryon (1948) melaporkan peningkatan yang lebih besar dalam pH di tanah liat berpasir daripada di tanah bertekstur liat. pH tanah berbagai meningkat setelah aplikasi arang kayu (pH 6.15) daripada konifer arang (pH 5.15) mungkin karena kandungan abu yang berbeda masing-masing 6,38% dan 1,48% (Glaser *et al.*, 2002).

Bahan baku biochar dan kondisi pirolisis sebagian besar menentukan konsentrasi karbonat yang dihasilkan, membuat beberapa biochar agen pengapuran yang lebih baik daripada yang lain. Konsentrasi karbonat dapat bervariasi 0,5-33% (Chan *et al.*, 2007) tergantung pada kondisi awal. Arang kayu dilaporkan memiliki konsentrasi karbonat besar dan terbukti lebih efektif dalam mengurangi keasaman tanah, sehingga memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kesuburan tanah (Steiner, 2007). Pengapuran tanah asam menurunkan kejenuhan Al, sementara meningkatkan kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa. (Cochrane dan Sanchez, 1980; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Selain itu, sebenarnya ketersediaan hara meningkat melebihi jumlah yang diantisipasi oleh pertukaran kation sendiri sebagai akibat dari garam larut yang tersedia di biochar tersebut.

Efek pengapuran terkait dengan biochar mungkin tidak cocok untuk semua jenis tanah dan tanaman. Peningkatan pH tanah terkait dengan penambahan biochar telah menyebabkan defisiensi mikronutrien pada tanaman pertanian (Kishimoto dan Sugiura, 1985) dan vegetasi hutan sehingga penting untuk mengakui keberadaan vegetasi *calcifuge* sebelum aplikasi. Selain itu, banyak tanaman hutan, jamur dan bakteri berkembang di tanah

pH rendah sehingga mengubah pH tanah hutan melalui penambahan biochar dapat mengakibatkan pergeseran yang tidak menguntungkan di atas dan di bawah pertumbuhan. Memahami interaksi antara produksi biochar dan kondisi aplikasi, tekstur tanah, bahan organik, dan pH tanah akan menjadi faktor kunci dalam menentukan efek jangka panjang dari aplikasi biochar pada tanah hutan.

Dalam jangka pendek, biochar dapat menyediakan sumber unsur hara tersedia bagi tanaman sekali diterapkan pada tanah (Gaskin *et al.*, 2008; Sohi *et al.*, 2010). Sebagian kecil dari unsur hara dalam bahan baku, selain dari N, tetap tertahan di biochar dalam bentuk yang diekstrak. Tidak pasti apakah unsur hara larut dilepaskan seketika setelah ditambahkan ke lingkungan tanah, atau dilepaskan dari waktu ke waktu (Sohi *et al.* 2010), tapi kemungkinan akan tergantung pada sifat fisik tanah awal. Pengenalan cepat unsur hara yang mudah tersedia dan sejumlah kecil C labil dipertahankan dalam biochar bisa menyebabkan mineralisasi bahan organik tanah, terutama di lingkungan unsur hara terbatas. Selain itu, biochar alkali dapat meningkatkan pH tanah asam dan kemudian merangsang aktivitas mikroba sehingga lebih meningkatkan mineralisasi atau dekomposisi bahan organik tanah yang ada.

Chan *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa perubahan kimia dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Beberapa penelitian telah menemukan bahwa penambahan biochar ke tanah meningkatkan jumlah C (Van Zwieten *et al.*, 2010), N total, pH, KTK, P tersedia, dan kation tukar (misalnya Ca, Mg, Na, dan K) dalam tanah (Chan *et al.*, 2008). Demikian pula, Mayor *et al.* (2010) menemukan bahwa penambahan biochar meningkatkan Ca dan Mg tersedia, serta pH di dalam tanah. Chan *et al.* (2007) melaporkan bahwa penambahan biochar dari limbah hijau (campuran potongan rumput, sampah, dan pemangkasan tanaman) ke tanah mengakibatkan peningkatan karbon organik, Na, K, dan Ca, P diekstrak, dan penurunan tersedia Al dalam tanah. Umumnya, perubahan pada karakteristik tanah yang sebanding dengan jumlah biochar yang diterapkan (Chan *et al.*, 2007).

Biochar mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation. Afinitas yang tinggi sangat membantu dalam menyelesaikan masalah polusi tanah dan air karena penggunaan berbagai bahan kimia pertanian yang berlebihan. Di samping itu, biochar merupakan senyawa karbon yang relatif stabil, jauh lebih stabil dari senyawa organik yang tidak diarsir (Badlock dan Smernik, 2002). Kedua karakteristik ini telah melahirkan gagasan bahwa biochar akan sangat bermanfaat untuk mengurangi laju degradasi tanah, sehingga kesinambungan produksi pangan dapat dijamin. Hasil penelitian pada tanah lempung berdebu telah

menunjukkan bahwa aplikasi biochar pada tanaman jagung musim tanam pertama telah menghasilkan jagung yang relatif sama selama tiga musim tanam meskipun tidak menambahkan pupuk P dan K pada musim kedua dan ketiga dan mengurangi pencucian nitrat dan kalium (Widowati *et al.*, 2012). Penerapan biochar dapat menghambat transformasi N-NH_4 menjadi N-NO_3 . Setelah 28 hari inkubasi, ada 60 mg kg^{-1} N-NH_4 (biochar pupuk kandang ayam) dan 52 mg kg^{-1} (biochar sampah organik) dibandingkan dengan 40 mg kg^{-1} N-NH_4 (pupuk kandang ayam) dan 12 mg kg^{-1} N-NH_4 (kontrol). Hilangnya nitrogen karena pencucian dari tanah yang diberi dengan biochar adalah 470 - 510 mg, sedangkan dari tanah yang tidak diberi biochar 641 mg (Widowati *et al.*, 2011).

Biochar lebih stabil dari yang lainnya dan ketersediaan hara meningkat melebihi efek pupuk (Lehmann, 2009), tetapi sifat dasar stabilitas dan kapasitas unsur hara lebih efektif dibandingkan dengan bahan organik lain di dalam tanah. Kemampuan ini karena sifat kimia dan sifat fisik yang spesifik, seperti kepadatan tinggi (Liang *et al.*, 2006), yang menghasilkan retensi hara yang jauh lebih besar, dan dalam kombinasi dengan struktur kimia yang spesifik (Baldock dan Smernik, 2002) yang menyediakan jauh lebih besar ketahanan terhadap pembusukan mikroba dari bahan organik tanah lainnya (Cheng *et al.*, 2008). Pada tanah alkalin, biochar dapat meningkatkan P tersedia karena reaktivitas P meningkat dan membentuk senyawa tidak larut dengan Ca (DeLuca *et al.*, 2009). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat kimia, fisika dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002 dan Chan *et al.*, 2007). Penggunaan biochar dapat meningkatkan pH tanah dan meningkatkan KTK tanah (Liang *et al.*, 2006; Yamato *et al.*, 2006). Steiner *et al.* (2008) telah melaporkan adanya peningkatan efisiensi pemupukan nitrogen pada tanah yang mengandung biochar. Perbaikan struktur tanah, peningkatan kapasitas penyimpanan air tanah dan penurunan kekuatan tanah telah dilaporkan oleh Chan *et al.* (2007) yang melakukan penelitian pada tanah yang mudah mengeras di Australia. Pengaruh positif biochar terhadap kesuburan biologi tanah terjadi melalui peningkatan aktivitas jasad mikro tanah sehingga dapat meningkatkan komposisi dan biomassa jasad mikro tanah (Steiner *et al.*, 2008). Lehmann dan Rondon (2006) melaporkan bahwa hasil tanaman meningkat dengan meningkatnya aplikasi biochar hingga 140 Mg C/ha (namun tingkat hasil maksimal belum tercapai) pada tanah di daerah tropis lembab. Rondon *et al.* (2004) menyatakan bahwa pertumbuhan biomassa (*Phaseolus vulgaris* L.) meningkat dengan aplikasi biochar sampai dengan 60 Mg C ha^{-1} tetapi menurun dengan nilai yang sama seperti untuk perlakuan kontrol saat aplikasi biochar ditingkatkan menjadi 90 Mg C ha^{-1} (walaupun hasil kacang masih meningkat). Lehmann dan Rondon

(2006) menyimpulkan bahwa tanaman memberikan respon positif hingga biochar dosis 50 Mg C ha⁻¹. Hasil jagung tertinggi pada biochar sekam padi 30 t ha⁻¹.

Sebagian besar kation-kation Ca²⁺, Mg²⁺ dan K⁺ yang ada dalam tanah berbiochar tidak terikat oleh gaya elektro statik, tetapi hadir sebagai garam terlarut oleh karena itu mudah tersedia dan diserap oleh tanaman (Glaser *et al.*, 2002). Pada fase awal keberadaan biochar dalam tanah, oksidasi abiotik juga dijumpai lebih penting dari pada oksidasi biotik dalam pembentukan muatan permukaan negatif dan KTK (Cheng *et al.*, 2006). Meningkatkan KTK tanah setelah aplikasi biochar disebabkan oleh adanya pembentukan gugus karboksilat hasil oksidasi abiotik yang terjadi pada permukaan luar partikel biochar (Cheng *et al.*, 2006). Hal inilah yang selalu dijadikan alasan penguat meningkatnya KTK setelah aplikasi biochar dalam tanah. Menurut Sohi *et al.* (2009), KTK tanah merupakan suatu ukuran seberapa baik hara diikat oleh tanah sehingga dapat menahan hara akibat proses *leaching* ke bagian bawah tanah maupun kehilangan permukaan tanah.

Biochar merupakan karbon aktif yang mengandung mineral seperti kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbon anorganik. Dengan kandungan senyawa organik dan anorganik yang terdapat didalamnya, biochar banyak digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan kualitas tanah, khususnya tanah marginal atau lahan kering (Rondon *et al.*, 2007; Hunt *et al.*, 2010). Biochar dapat berfungsi sebagai pembenah tanah, meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan memasok sejumlah unsur hara yang berguna serta meningkatkan sifat fisik dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2003; Steiner, 2007).

Biochar mampu memperbaiki tanah melalui kemampuannya meningkatkan pH, meretensi air, meretensi hara, dan meningkatkan aktivitas biota dalam tanah serta mengurangi pencemaran (Laird *et al.*, 2008). Namun, biochar tidak mampu menyediakan unsur hara secara langsung, tetapi secara tidak langsung biochar mampu mengurangi hilangnya hara melalui pelindian, sehingga efisiensi pemupukan dapat ditingkatkan. Biochar merupakan bahan alternatif untuk perbaikan kesuburan tanah sekaligus untuk perbaikan lingkungan yang murah, berkelanjutan, dan ramah lingkungan. Biochar dapat memperbaiki sifat kimia, fisik, dan biologi tanah. Kehilangan N melalui pemupukan dapat dikurangi dengan penambahan biochar (Steiner 2007). Kualitas dari biochar sangat ditentukan oleh karakteristik bahan baku dan proses pirolisis (Amonette dan Joseph, 2009). Bahan dasar yang digunakan akan mempengaruhi sifat-sifat biochar itu sendiri dan mempunyai efek yang berbeda-beda terhadap produktivitas tanah dan tanaman (Gani 2009). Abu merupakan bahan yang tersisa apabila biomassa dipanaskan hingga beratnya konstan. Salah satu unsure utama yang terkandung dalam abu adalah silica dan pengaruhnya kurang baik terhadap nilai kalor

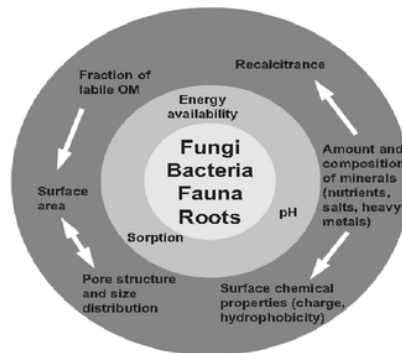
yang dihasilkan. Kadar abu berhubungan positif dengan kandungan lignin bahan. Kadar SiO₂ berhubungan positif dengan kandungan lignin dan membentuk hubungan kuadratik sesuai dengan persamaan $Y = 0,030 \times 2 - 1355x + 54,76$ ($R^2=0,763$). Komposisi fraksi abu biochar sebagian besar tergantung pada kandungan mineral dalam bahan baku karena sebagian besar unsur-unsur anorganik tidak menguap pada suhu pirolisis.

8.3. Efek Biochar pada Sifat Biologi Tanah

Tanah dapat dipandang sebagai komunitas organism yang kompleks yang terus berubah sebagai respon terhadap karakteristik tanah, faktor iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik (Thies dan Rillig, 2009). Namun, penambahan biochar ke tanah cenderung memiliki efek yang berbeda pada biota tanah (semua organisme hidup dalam tanah) dibandingkan dengan penambahan segar bahan organik (biomassa). Perbedaan muncul karena relatif stabilnya biochar dan kurangnya energi dan karbon biologis yang bisa digunakan dibandingkan dengan bahan organik segar. Namun demikian, penambahan biochar ke tanah mempengaruhi kelimpahan, aktivitas dan keragaman komunitas biotik tanah. Selain biochar dapat merangsang aktivitas mikroorganisme dalam tanah, berpotensi mempengaruhi sifat mikrobiologi tanah (Hammes dan Schmidt, 2009). Daripada memasok mikroorganisme dengan sumber utama unsur hara, pemikiran biochar untuk meningkatkan lingkungan fisik dan kimia dalam tanah, memberikan mikroba dengan habitat yang lebih menguntungkan (Krull *et al.*, 2010). Biochar, karena sifat berpori, area permukaan yang tinggi dan kemampuannya untuk mengadsorpsi materi organik larut dan unsur hara anorganik, menyediakan habitat yang sangat cocok untuk mikroba. Hal ini berlaku untuk bakteri, jamur *mikoriza arbuskula actinomycete* dan dari beberapa jenis yang mungkin istimewa menjelajah biochar tergantung pada sifat fisika-kimia properti. Pori-pori biochar dapat bertindak sebagai tempat perlindungan untuk beberapa mikroba, melindungi mereka dari kompetisi dan predasi.

Kelimpahan mikroba, keanekaragaman dan aktivitas sangat dipengaruhi oleh pH. Kapasitas penyangga (yaitu, kemampuan larutan tanah untuk menahan perubahan pH) yang diberikan oleh biochar dan kapasitas tukar kation dapat membantu menjaga kondisi pH yang tepat dan meminimalkan fluktuasi pH dalam habitat mikro di dalam partikel biochar. Biochar relatif stabil dan memiliki waktu tinggal di dalam tanah yang lama, yang menunjukkan bahwa biochar bukan substrat yang baik (makanan) bagi biota tanah. Namun, biochar baru yang ditambahkan ke tanah dapat mengandung substrat yang cocok untuk

mendukung pertumbuhan mikroba. Tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi produksi, beberapa biochar mungkin berisi minyak organik atau senyawa organik *recondensed* yang dapat mendukung pertumbuhan dan reproduksi kelompok mikroba tertentu. Implikasi dari ini adalah bahwa komunitas mikroba dalam biochar akan berubah dari waktu setelah telah ditambahkan ke tanah. Selain itu, mungkin ada perubahan seiring dalam kisaran peran ekologi dan layanan yang diberikan oleh komunitas yang berurutan. Ini mungkin menjadi jasa ekosistem yang bermanfaat untuk pertanian, seperti siklus hara atau mineralisasi bahan organik, mengembangkan dari waktu ke waktu.



Gambar 1. Diagram menunjukkan hubungan antara sifat biochar (lingkaran luar), tanah (lingkaran menengah) dan sebuah biota tanah (lingkaran dalam) (Dari Lehman *et al.*, 2011)

Sifat biochar dapat meningkatkan komunitas mikroba tanah dan menciptakan lingkungan mikro yang mendorong kolonisasi mikroba. Biochar memiliki pori-pori dan luas permukaan internal tinggi, dan peningkatan kemampuan untuk menyerap bahan organik menyediakan habitat yang cocok untuk mendukung mikrobiota tanah yang mengkatalisasi proses yang mengurangi kehilangan N dan meningkatkan ketersediaan hara atau tanaman. Pori-pori sebagai tempat berlindung dengan melindungi mikroba dari predasi dan pengeringan sementara bahan organik teradsorpsi ke biochar menyediakan energi C dan persyaratan unsur hara mineral (Warnock *et al.*, 2007). Dalam ekosistem sedang dengan aplikasi biochar, mineralisasi N dan nitrifikasi ditingkatkan (Berglund *et al.*, 2004; Gundale dan DeLuca, 2007) dengan menciptakan lingkungan mikro yang menguntungkan yang meningkatkan kolonisasi oleh mikroba (Warnock *et al.*, 2007; Pietikainen *et al.*, 2000). Jika aktivitas mikroba mampu mengoksidasi biochar, kita perlu tahu mikroba mana dapat mencapai hal ini, mekanisme yang terjadi, dan dalam kondisi apa dan pada tingkat apa ini akan berlangsung.

Bukti pendukung peningkatan kelimpahan mikroba dan penumpukan C stabil dalam

tanah berasal dari arang yang mengubah Anthrosol. Sementara banyak penelitian menyarankan penambahan biochar yang bermanfaat untuk meningkatkan aktivitas mikroba dan meningkatkan penyimpanan C, yang lain telah melaporkan dekomposisi bahan organik tanah dipercepat (priming) setelah penambahan biochar segar (arang). Stabilisasi bahan organik tinggi ditambahkan ke tanah dari lingkungan tropis yang mengandung arang tua. Mereka melaporkan mineralisasi bahan organik kurang lebih 25,5% pada Anthrosol dibandingkan dengan Oxisol yang berdekatan yang tidak diamendemen. Sedangkan arang mengubah Anthrosol memiliki lebih dari dua kali jumlah biomassa mikroba dari tanah yang berdekatan, respirasi karbon dioksida (CO₂) lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang berdekatan yang tidak diamendemen. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa mikroba terkait dengan penambahan arang memiliki efisiensi metabolisme yang lebih tinggi (Liang *et al.*, 2010). Temuan serupa mendukung proliferasi mikroba dan penurunan respirasi tanah telah dilaporkan dalam tanah mineral yang berubah dengan tingkat bervariasi biochar jagung. Sebaliknya, potensi biochar untuk menyebabkan atau mempercepat dekomposisi bahan organik (humus) permukaan tanah telah dilaporkan dalam studi 10 tahun dari kantong sampah di zona boreal (Wardle *et al.*, 2008a), di mana kerugian humus lebih cepat ditunjukkan pada arang. Demikian pula, biochar homogen dengan atau tanpa N bisa merangsang hilangnya C organik tanah (antara 8-13%) dalam tanah pertanian dan hutan. Ada juga bukti yang menunjukkan bahwa ketersediaan N tanah adalah faktor pengendali untuk efek priming char (DeLuca *et al.*, 2006; Gundale dan DeLuca, 2006). Apakah aplikasi biochar menstabilkan bahan organik tanah atau hasil dalam priming masih dalam spekulasi dan sebagai saran penelitian lebih lanjut (Sohi *et al.*, 2010).

Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik yang tersedia melimpah. Biochar adalah padatan berpori hasil karbonisasi bahan-bahan mengandung karbon. Umumnya struktur arang berupa karbon amorf, yang tersusun dari karbon-karbon bebas berikatan kovalen membentuk struktur heksagonal datar (Puziy *et al.*, 2003). Kualitas biochar sangat tergantung pada sifat kimia dan fisik biochar yang dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan metode karbonisasi (tipe alat pembakaran, temperatur), dan bentuk biochar (padat, serbuk, karbon aktif) (Ogawa, 2006). Widowati *et al.* (2014) melaporkan ada interaksi antara jenis dan dosis biochar pada pencucian N dan K dan produksi biomassa jagung. Biochar mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Perubahan dari biomasa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO₂, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Potensi penggunaan biochar sebagai bahan amandemen untuk

menjaga kesinambungan kesuburan dan produktivitas tanah di daerah tropis telah dilaporkan oleh (Topoliantz *et al.*, 2005).

2 Di dalam tanah, biochar menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah, tapi tidak dikonsumsi seperti bahan organik lainnya. Dalam jangka panjang, biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon nitrogen, bahkan mampu menahan dan menjadikan air dan unsur hara lebih tersedia bagi tanaman.

IX. Inkubasi Jenis Biochar dan Pupuk Organik pada Sifat Fisik Tanah Litosol, Alfisol, dan Entisol

Percobaan inkubasi dilakukan di rumah kaca Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang, Indonesia ($7^{\circ}.48'15.0''$ BS dan $112^{\circ}.37'41''$ BT) dengan suhu harian bervariasi sekitar 16° - 36° C dengan kelembaban relatif sekitar 43-86%, dan intensitas cahaya 365-1997 lux. Sampel tanah komposit 0-30 cm diambil dari lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan, tepatnya di Desa Purwodadi Kecamatan Donomulyo, Desa Sukowilangun Kecamatan Kalipare, dan Desa Sumberrejo Kecamatan Poncokusumo. Kecamatan Donomulyo terletak pada $112^{\circ}23'30''$ – $112^{\circ}29'64''$ BT dan $8^{\circ}16'75''$ – $8^{\circ}19'81''$ LS dengan tanah dari tipe Litosol Ordo Entisol. Bahan induk tanah Litosol dari jenis batuan beku atau sedimen keras yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna. Tanah tidak subur dan produktivitasnya rendah. Kecamatan Kalipare terletak $21,95^{\circ}$ – $29,61^{\circ}$ BT dan $9,40^{\circ}$ – $16,48^{\circ}$ LS dengan tanah Mediteran Merah Kuning Ordo Alfisol. Tanah dari Kalipare tidak digunakan untuk pertanian karena hampir semua jenis tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik. Kecamatan Poncokusumo, berjarak tempuh ke ibu kota kabupaten kurang lebih sejauh 24 km dengan tanah Regosol Ordo Entisol. Tanah dari Poncokusumo ditanami sayuran yang pertumbuhannya kurang baik.

Sampel tanah kering udara pada suhu kamar dengan kadar air $0,34 \text{ g g}^{-1}$ (Entisol); $0,5 \text{ g g}^{-1}$ (Litosol); dan $0,61 \text{ g g}^{-1}$ (Alfisol). Tanah ditempatkan dalam pot plastik dengan menggunakan sampel tanah yang diambil dari 3 jenis tanah di Kabupaten Malang. Setiap sampel tanah ditempatkan ke dalam pot plastik (diameter 18 cm dan tinggi 25 cm). Perlakuan diatur dalam Rancangan Tersarang, yang terdiri atas 2 faktor. Faktor pertama adalah jenis tanah dari agroekosistem lahan kering yang produktivitasnya rendah, yaitu : (1). Alfisol/Mediterran (Kec. Kalipare), (2). Alfisol/Litosol (Kec. Donomulyo), (3). Regosol/Entisol (Kec. Poncokusumo). Faktor kedua adalah biochar-pupuk organik terdiri atas 12 perlakuan yang tersarang pada faktor pertama, yaitu:

1. Tanpa biochar-pupuk organik
2. Biochar sekam padi (S)
3. Biochar tongkol jagung (T)
4. Biochar jengkok tembakau (J)
5. Biochar sekam padi-kompos (SK)
6. Biochar sekam padi-kandang kotoran ayam (SA)
7. Biochar tongkol-kompos (TK)

8. Biochar tongkol- kandang kotoran ayam (TA)
9. Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam (JA)
10. Biochar jengkok tembakau-kompos (JK)
11. Kompos (K)
12. Pupuk kandang kotoran ayam (A)

Perlakuan diulang 3 kali. Kombinasi perlakuan sebanyak $3 \times 12 \times 3 = 108$ pot. Percobaan inkubasi dilakukan dalam pot yang diletakkan di rumah kaca. Biochar maupun pupuk organik yang diberikan secara tunggal, masing-masing dengan dosis 150 g pot^{-1} tetapi jika digunakan secara bersama (campuran) maka dosis yang digunakan masing-masing menjadi 75 g pot^{-1} . Ini setara dengan amandemen biochar dan atau pupuk organik $9,6 \text{ ton ha}^{-1}$ dalam lapisan olah 20 cm. Biochar-pupuk organik diaplikasikan ke dalam tanah dan dicampur secara merata dan dibiarkan selama 98 hari (14 minggu). Tanah sebanyak 3,85 kg dimasukkan ke dalam pot plastik dan ditambahkan dengan berlakuan menjadi 4 kg pot^{-1} . Inkubasi biochar-pupuk organik di dalam tanah dan diamati pada 7, 14, 28, 56, dan 95 hari. Selama inkubasi, kadar air tanah dipertahankan pada 0,11 - 0,18 g g^{-1} (ekivalen dengan 70 - 80% dari kapasitas lapangan) dengan penambahan air 1 liter setiap 21 hari. Selama masa inkubasi (98 hari) diberi air di setiap 3 minggu (70-80% kapasitas lapangan). Setelah masa inkubasi dilakukan pengamatan terhadap sifat kimia, fisika dan biologi tanah. Sifat kimia tanah diamati setiap masa inkubasi (5 kali pengamatan), meliputi pH dan C organik, KTK, KB, N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn. Sifat fisik tanah diamati pada awal sebelum penelitian dan pada inkubasi 98 hari. Pada awal penelitian dilakukan pengamatan sifat fisik, meliputi tekstur, bobot partikel tanah, kadar air (pF 0; 2; 4,2) secara gravimetrik untuk menentukan persentase ruang pori tanah. Pengamatan sifat fisik tanah pada akhir pengamatan meliputi bobot isi dan partikel, porositas, dan kadar air (pF). Dari kurva pF dapat dihitung persentase pori mikro, meso, dan makro. Kadar air tanah pada kurva 4,2 dikalikan dengan 100 (pori mikro), kadar air pada pF 2 dikurangi pF 4,2 dikalikan dengan 100 (pori meso), dan kadar air pada pF 0 dikurangi pF2 dikalikan 100 (pori makro). Sifat fisik tanah diamati dengan menggunakan ring sample (diameter 5 cm dan tinggi 5,5 cm) yang dibenamkan sampai 15 cm dari permukaan tanah atas. Sifat biologi tanah diamati setelah 45 dan 98 hari, meliputi kandungan mikrobial (bakteri dan jamur). Pengamatan untuk evaporasi selama 4 kali yang dilakukan setiap 3 minggu sekali, dimulai pada 3,6,9,12 minggu. Pot plastik diberi air sampai kapasitas lapangan pada 1 hari setelah aplikasi biochar sebanyak 1-2 liter/pot plastik. Pemberian air dilakukan setiap 3 minggu sekali, sebanyak 1

liter per pot dengan menggunakan air sumur. Untuk pengamatan evaporasi dilakukan dengan penimbangan pot yang dilakukan satu hari sebelum dan sesudah pemberian air.

Distribusi ukuran partikel dengan metode pipet; karbon organik tanah dengan oksidasi menggunakan kalium dikromat. Bobot isi, bobot partikel, dan porositas dengan ring sampel. ⁴ Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam sesuai rancangan dan dilanjutkan dengan uji DMRT.

³⁶ Perubahan sifat fisik tanah dalam menanggapi penggunaan jenis biochar dan pupuk organik bervariasi dengan jenis tanah. Jenis biochar dan atau pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bobot isi, bobot partikel, porositas, dan persentase pori-pori tanah (makro, meso, dan mikro) dengan nilai signifikan $<\alpha(=0.05)$.

9.1. Bobot Isi Tanah

Secara umum pemberian biochar dan pupuk organik menurunkan bobot isi tanah pada ketiga jenis tanah tetapi tidak semua perlakuan memberikan tingkat penurunan yang sama pada masing-masing jenis tanah. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki *bulk density* jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis ($\sim 0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi *bulk density* tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu aplikasi biochar mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Pemberian bahan organik mempengaruhi agregasi sehingga tercipta ruang pori-pori yang berakibat pada penurunan partikel padatan tanah yang berimplikasi untuk mengurangi pemadatan tanah yang mempengaruhi akar menembus tanah. Setelah diberi perlakuan, nilai bobot isi tanah terendah pada masing-masing jenis tanah berbeda. Bobot isi tanah Entisol terendah dari perlakuan biochar sekam padi yang memiliki *Bulk density* lebih tinggi dari jenis biochar lainnya.

Ketiga jenis biochar yang diberikan pada tanah Litosol menghasilkan bobot isi tanah yang sama. Jika masing-masing jenis biochar dikombinasi dengan pupuk organik maka bobot isi tanah lebih rendah daripada jika hanya menggunakan biochar tunggal. Penurunan bobot isi tanah Litosol dari perlakuan kombinasi biochar dan pupuk organik lebih besar daripada hanya menerapkan biochar, berturut-turut 16% dan 7%.

Bobot isi tanah Alfisol menunjukkan nilai yang sama dari perlakuan biochar tongkol, kombinasi biochar sekam dan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar jengkok dan

kompos, dan pupuk kandang ayam. Perlakuan yang diberikan menurunkan bobot isi tanah sebesar 17 - 26% pada tanah Alfisol.

Tabel 3. Bobot isi tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Isi Tanah (g cm^{-3})								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	1.015	±	0.022 c	0.832	±	0.011 c	0.924	±	0.074 e
S	0.923	±	0.016 a	0.772	±	0.026 b	0.735	±	0.107 bc
T	0.962	±	0.037 ab	0.778	±	0.016 b	0.687	±	0.028 a
J	0.966	±	0.017 abc	0.767	±	0.005 b	0.808	±	0.023 d
SA	0.955	±	0.038 ab	0.699	±	0.026 a	0.697	±	0.026 a
SK	1.001	±	0.006 b	0.711	±	0.008 a	0.771	±	0.040 c
TA	1.013	±	0.046 c	0.689	±	0.022 a	0.710	±	0.034 ab
TK	0.972	±	0.017 abc	0.726	±	0.007 ab	0.790	±	0.010 c
JA	0.999	±	0.043 bc	0.720	±	0.010 ab	0.760	±	0.030 c
JK	0.960	±	0.053 ab	0.677	±	0.010 a	0.682	±	0.004 a
A	1.016	±	0.025 c	0.711	±	0.005 a	0.679	±	0.002 a
K	0.960	±	0.009 ab	0.823	±	0.041 c	0.771	±	0.039 c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

9.2. Bobot Partikel Tanah

Semua perlakuan belum cukup signifikan menurunkan bobot partikel tanah Entisol. Bobot partikel tanah Entisol meningkat dengan kombinasi biochar tongkol dan pupuk kandang ayam maupun kombinasi biochar jengkok dengan pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang ayam). Bobot partikel tanah Litosol tertinggi jika pupuk kandang ayam dikombinasi dengan biochar tongkol jagung ataupun dengan biochar jengkok. Demikian pula pada tanah Alfisol, bobot partikel tertinggi pada perlakuan kombinasi biochar jengkok dengan pupuk kandang ayam.

Tanah bertekstur kasar mempunyai kemampuan memegang air yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang bertekstur halus. Kadar bahan organik dalam tanah mempengaruhi agregasi tanah yang selanjutnya akan mempengaruhi bobot partikel, bobot isi, dan ruang pori di dalam tanah.

Tabel 4. Bobot partikel tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Partikel Tanah (g cm ⁻³)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	2.367	±	0.006 ab	2.306	±	0.061 bc	2.230	±	0.026 ab
S	2.405	±	0.056 bc	2.259	±	0.033 ab	2.169	±	0.016 a
T	2.322	±	0.064 ab	2.412	±	0.022 c	2.211	±	0.009 ab
J	2.294	±	0.012 157	2.313	±	0.035 bc	2.148	±	0.009 a
SA	2.362	±	0.070 abc	2.349	±	0.014 c	2.393	±	0.002 c
SK	2.283	±	0.021 abc	2.194	±	0.006 a	2.281	±	0.018 b
TA	2.414	±	0.029 c	2.541	±	0.016 d	2.252	±	0.008 b
TK	2.324	±	0.022 abc	2.364	±	0.120 c	2.271	±	0.033 b
JA	2.425	±	0.022 c	2.503	±	0.046 d	2.574	±	0.012 d
JK	2.445	±	0.147 c	2.376	±	0.127 c	2.365	±	0.023 c
A	2.397	±	0.006 bc	2.294	±	0.077 bc	2.304	±	0.019 b
K	2.321	±	0.022 ab	2.372	±	0.032 c	2.330	±	0.036 c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

9.3. Porositas tanah

Hampir semua perlakuan yang diterapkan pada penelitian ini tidak menurunkan porositas tanah Entisol, bahkan terjadi kenaikan dengan biochar sekam padi. Porositas tanah Entisol meningkat 8% dari 57% (kontrol) menjadi 62% (biochar sekam padi). Porositas meningkat setelah diberi perlakuan pada tanah Litosol maupun Alfisol. Perlakuan terbaik untuk meningkatkan porositas tanah liat berasal dari kombinasi jenis biochar dan pupuk organik. Kombinasi biochar tongkol meningkatkan porositas tanah Litosol sebesar 14% sedangkan kombinasi biochar jengkok dan kompos meningkatkan porositas tanah Alfisol sebesar 21%. Menurut Asai *et al.* (2009), biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air mengakibatkan ketersediaan unsur hara yang lebih baik. Jenis biochar dan pupuk organik memberi respon yang berbeda pada tanah bertekstur liat karena masing-masing tanah mengandung pasir, debu, liat dan C organik yang berbeda (Tabel 1). Demikian pula karena perbedaan karakteristik biochar dan pupuk organik (Tabel 2). Ammu and Anitha (2015) menyatakan porositas tertinggi dari biochar pertumbuhan kayu liar mengakibatkan kapasitas pegang air secara signifikan lebih tinggi.

Tabel 5. Porositas tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Porositas Tanah (%)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	57.117	± 0.996	ab	63.924	± 1.329	a	58.582	± 2.842	a
S	61.598	± 0.310	d	65.816	± 1.049	ab	66.088	± 5.196	cd
T	58.536	± 2.709	ab	67.764	± 0.957	bc	68.911	± 1.204	d
J	57.874	± 0.922	ab	66.813	± 0.664	abc	62.372	± 1.232	b
SA	59.524	± 2.779	bc	70.243	± 1.172	d	70.872	± 1.086	de
SK	56.149	± 0.189	ab	67.580	± 0.329	bcd	66.180	± 1.987	cd
TA	58.042	± 1.515	ab	72.884	± 1.025	e	68.471	± 1.554	de
TK	58.190	± 0.356	ab	69.220	± 1.808	cd	65.197	± 0.952	c
JA	58.803	± 2.138	bc	69.239	± 0.113	cd	70.476	± 1.304	de
JK	60.555	± 4.501	cd	71.448	± 1.131	de	71.157	± 0.462	e
A	55.117	± 0.907	a	68.971	± 1.282	cd	70.541	± 0.292	de
K	58.628	± 0.527	bc	65.313	± 1.385	ab	66.907	± 2.193	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pori makro menunjukkan pori drainase cepat. Penurunan pori makro sejalan dengan penurunan porositas pada tanah Entisol. Perlakuan pupuk kandang ayam terbaik dalam menurunkan pori makro pada tanah berpasir, sebesar 21,4% dari 37,3% menjadi 29,3%. Semua ukuran pertikel pupuk kandang ayam terendah dibanding ketiga jenis biochar maupun kompos (Tabel 2) yang mungkin lebih cocok untuk menurunkan pori makro pada tanah dengan kadar pasir tertinggi. Penurunan pori makro sangat penting pada tanah berpasir supaya pori meso ataupun pori mikro meningkat sehingga kapasitas pegang air meningkat dan lebih banyak air yang bisa dimanfaatkan.

Sebaliknya pada tanah liat, semua perlakuan meningkatkan pori makro pada tanah Alfisol. Kenaikan pori makro tertinggi sebesar 179% dari 13% menjadi 36% dari kombinasi biochar jengkok dan kompos pada Alfisol. Akan tetapi tidak semua jenis biochar maupun kombinasinya dengan pupuk organik dapat meningkatkan pori makro pada tanah Litosol. Biochar sekam dan tongkol memberi pengaruh yang sama untuk meningkatkan pori makro pada tanah Litosol. Penggunaan biochar jengkok yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam menunjukkan pori makro yang lebih baik daripada biochar jengkok yang digunakan secara tunggal. Penggunaan pupuk kandang ayam yang dikombinasi dengan biochar sekam maupun biochar tongkol menghasilkan pori makro yang lebih tinggi daripada perlakuan tunggal pada tanah Litosol. Kenaikan pori makro sebesar 28% dari 32% menjadi 45% dari kombinasi pupuk kandang ayam dengan biochar sekam maupun kombinasinya dengan biochar tongkol. Persentase pori makro yang meningkat pada tanah liat bermanfaat untuk aerasi sehingga tanah tidak kelebihan air yang berdampak pada pernafasan akar tanaman

terhambat.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah dengan persentase pori makro pada ketiga jenis tanah dengan nilai $r = -0,807$ (Entisol); $r = -0,454$ (Litosol); $r = -0,873$ (Alfisol). Semakin tinggi bobot isi tanah semakin rendah persentase pori makro, dengan nilai R^2 sebesar 0,65 (Entisol); 0,21 (Litosol) dan 0,76 (Alfisol).

Pori meso menunjukkan pori air tersedia bagi tanaman. Pori meso meningkat 28% dari 9,6% (kontrol) menjadi 13,4% (biochar dan pupuk organik) pada tanah berpasir. Purakayastha *et al.* (2013) melaporkan kapasitas air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung (456%). Lebih lanjut disampaikan bahwa peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air dari biochar.

Jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan secara kombinasi maupun tunggal memberi pengaruh yang sama pada peningkatan pori meso tanah berpasir. Hasil penelitian ini sejalan dengan Atkinson *et al.*, 2010; Sutono dan Nurida 2012; dan Suwardji *et al.*, 2012 yang melaporkan biochar efektif memperbaiki retensi air tanah pada tanah berpasir. Peningkatan kapasitas air tersedia sebesar 16% dengan penambahan biochar kotoran sapi (Sukartono dan Utomo, 2012). Distribusi ukuran partikel mencerminkan pori-pori, biochar memiliki pori-pori lebih tinggi daripada pupuk organik yang bermanfaat untuk meningkatkan luas permukaan tanah pada tekstur pasir berlempung. Disamping itu bahan organik sebagai granulator yang mempengaruhi pembentukan agregat tanah dan menjadikan struktur remah. Bahan organik mampu meningkatkan jumlah air yang dapat ditahan di dalam tanah.

Tabel 6. Persentase pori makro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Makro (%)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	37.345	± 5.501 b	32.359	± 1.744 a	13.010	± 2.580 a
S	38.556	± 0.483 b	36.476	± 0.862 b	27.512	± 1.875 cd
T	35.616	± 3.107 ab	36.932	± 2.576 b	33.022	± 3.434 d
J	35.159	± 1.040 ab	26.334	± 1.402 a	18.818	± 2.159 ab
SA	37.533	± 3.865 b	45.128	± 4.873 c	34.881	± 1.972 de
SK	31.980	± 0.376 ab	27.799	± 3.359 a	24.489	± 3.178 b
TA	31.888	± 4.780 ab	44.794	± 1.791 c	31.480	± 3.542 de
TK	35.050	± 0.118 ab	37.015	± 4.763 b	22.987	± 1.610 bc
JA	35.031	± 3.122 ab	35.407	± 3.623 b	28.991	± 3.880 cd
JK	37.935	± 5.449 b	40.087	± 2.287 bc	36.339	± 2.036 e
A	29.386	± 0.686 a	37.130	± 3.047 b	28.210	± 1.305 cd
K	35.617	± 0.741 ab	31.869	± 3.237 a	28.347	± 4.630 cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% (kontrol) menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada tanah Alfisol. Selanjutnya pori meso juga menurun dengan kombinasi pupuk kandang ayam dan biochar sekam maupun biochar tongkol tetapi tidak mengalami penurunan jika dikombinasi dengan kompos pada Alfisol. Penggunaan biochar sekam dan tongkol secara tunggal lebih baik dalam menurunkan pori meso daripada jika dikombinasikan dengan pupuk kandang. Biochar jengkok yang digunakan secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam tidak menurunkan pori meso, tetapi akan menurun jika dikombinasi dengan kompos pada Alfisol.

Pengaruh penggunaan biochar jengkok pada pori meso tanah Alfisol berbeda dengan tanah Litosol meskipun kedua jenis tanah memiliki tekstur liat. Karbon organik tanah Litosol dua kali lebih besar daripada tanah Alfisol, kadar liat dan pori meso tanah Litosol lebih rendah dari Alfisol (Tabel 1). Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0% pada tanah Litosol. Sedangkan pada tanah Alfisol tidak menunjukkan penurunan pori meso. Biochar jengkok memiliki kapasitas memegang air lebih rendah (143,7%), ukuran partikel (0,044 mm dan 0,25 mm) lebih rendah; dan ukuran partikel (0,595 dan 1 mm) lebih tinggi dibanding biochar lainnya. Namun perlakuan lainnya tidak menunjukkan penurunan pori meso pada tanah Litosol.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi dengan persentase pori meso dengan nilai $r = 0,371$ (Entisol) dan $r = 0,578$ (Alfisol), sedangkan pada Litosol tidak menunjukkan korelasi yang nyata. Nilai R^2 sebesar 0,14 (Entisol) dan 0,33 (Alfisol).

Tabel 7. Persentase pori meso pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Meso (%)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	9.614	± 4.262 a	11.456	± 1.166 bc	17.422	± 2.663 c
S	13.834	± 0.228 b	11.063	± 1.207 bc	8.783	± 5.935 a
T	12.328	± 0.738 ab	13.072	± 1.865 bc	11.718	± 2.943 a
J	12.791	± 0.199 ab	5.038	± 6.068 a	18.123	± 2.230 c
SA	12.231	± 0.979 ab	11.785	± 1.180 bc	12.787	± 1.453 b
SK	13.124	± 0.205 b	12.001	± 6.130 bc	18.256	± 0.905 c
TA	13.915	± 1.855 b	13.439	± 0.463 bc	12.065	± 2.540 b
TK	12.387	± 0.375 ab	11.498	± 2.040 bc	17.272	± 0.648 c
JA	13.838	± 1.016 b	12.855	± 1.720 bc	18.182	± 0.769 c
JK	12.866	± 1.029 ab	14.401	± 1.195 c	13.586	± 1.424 b
A	15.869	± 0.523 b	13.964	± 2.848 bc	15.748	± 0.248 bc
K	14.198	± 0.280 b	10.844	± 1.989 b	12.999	± 2.613 b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pori mikro merupakan pori drainase lambat yang menentukan kemampuan tanah memegang air. Pemberian jenis biochar dan pupuk organik belum berpengaruh terhadap peningkatan persentase pori mikro bahkan ada penurunan pori mikro dari perlakuan biochar sekam pada tanah berpasir.

Pada tanah Alfisol, semua perlakuan dapat menurunkan pori mikro kecuali biochar sekam. Kombinasi biochar jengkok dan kompos maupun yang hanya menggunakan pupuk kandang ayam menurunkan pori mikro sebesar 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1% pada tanah Alfisol. Perlakuan lainnya juga menurunkan pori mikro sebesar 14,9% dari 28,3% menjadi 24,1% pada tanah Alfisol. Penurunan persentase pori mikro pada tanah Alfisol bermanfaat untuk mengurangi kadar air yang berlebih yang mengganggu aerasi tanah. Penambahan bahan organik berperan untuk agregasi tanah liat sehingga sirkulasi udara berjalan lebih baik.

Penggunaan jenis biochar dapat meningkatkan dan menurunkan pori mikro pada tanah Litosol. Biochar sekam dan tongkol menurunkan pori mikro sebesar 11,9% dari 20,2% menjadi 17,8% pada Litosol, tetapi biochar jengkok meningkatkan pori mikro sebesar 22,9% dari 20,2% menjadi 26,2% pada tanah Litosol. Biochar jengkok memiliki kapasitas pegang air dan ukuran partikel (0,044 mm dan 0,250 mm) yang terendah dan ukuran partikel (0,595 mm dan 1 mm) yang tertinggi dibandingkan jenis biochar lainnya. Ketiga jenis biochar yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam dapat menurunkan pori mikro, tetapi tidak demikian jika dikombinasi dengan kompos pada tanah Litosol.

Penurunan pori mikro pada tanah liat berimplikasi pada berkurangnya air berlebih yang menghalangi sirkulasi udara sehingga membatasi kebutuhan oksigen bagi akar tanaman yang berakibat pada kematian tanaman.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah berliat dengan persentase pori mikro dengan nilai $r = 0,557$ (Litosol) dan $r = 0,536$ (Alfisol). Nilai R^2 sebesar 0,29 (Alfisol) dan 0,31 (Litosol) tetapi pada tanah pasir korelasi tidak nyata.

Tabel 8. Persentase pori mikro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori mikro (%)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	10.171	± 0.297 bc	20.229	± 0.686 d	28.323	± 0.587 e
S	8.933	± 0.116 ²⁶ bc	17.745	± 0.441 c	29.827	± 0.756 f
T	10.802	± 0.343 bc	17.836	± 0.284 c	24.198	± 0.723 bc
J	9.982	± 0.031 b	26.192	± 0.731 f	25.167	± 1.259 d
SA	9.929	± 0.123 b	14.911	± 1.136 a	23.300	± 0.608 b
SK	10.934	± 0.114 bc	21.102	± 0.176 e	23.310	± 0.598 b
TA	11.002	± 0.004 c	14.670	± 0.571 a	24.731	± 0.466 cd
TK	10.773	± 0.392 bc	19.226	± 0.689 d	24.820	± 0.312 cd
JA	9.984	± 0.027 bc	18.844	± 0.270 d	23.122	± 2.186 b
JK	9.951	± 0.084 b	14.817	± 0.316 a	21.129	± 0.224 a
A	9.862	± 0.240 b	15.759	± 0.672 b	21.047	± 0.082 a
K	9.023	± 0.040 b	21.761	± 0.413 e	25.864	± 0.236 d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

X. INKUBASI JENIS BIOCHAR DAN PUPUK ORGANIK PADA SIFAT KIMIA TANAH

10.1. Kandungan Bahan Organik Tanah

Setelah penambahan biochar dan pupuk organik ke tanah, variasi karakteristik biochar dan pupuk organik dapat menyebabkan pengaruh yang bervariasi pada bahan organik tanah maupun jenis tanah. Bahan organik tanah Entisol, Litosol, dan Alfisol setelah perlakuan disajikan pada Tabel 8-12. Perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah pada hari ke-7 sampai ke-98. Jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah (nilai signifikan $< \alpha (=0.05)$).

Perubahan karbon organik akan mempengaruhi kesuburan tanah. Penggunaan biochar dan pupuk organik meningkatkan bahan organik tanah sejak hari ke-7 sampai hari ke-98 pada tiga jenis tanah. Kadar bahan organik tanah sangat bervariasi naik dan turun di setiap hari pengamatan. Bahan organik tanah dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada pupuk organik. Biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos meningkatkan bahan organik tanah Litosol pada 7-14 hari setelah inkubasi tetapi biochar tongkol jagung yang dicampur kompos meningkatkan bahan organik tanah Entisol pada hari ke-98. Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008).

Setiap jenis tanah menunjukkan kadar bahan organik tanah yang berbeda meskipun dengan perlakuan yang sama. Bahan organik tanah Litosol lebih tinggi daripada Alfisol pada semua pengamatan meskipun kedua tanah memiliki tekstur yang sama (liat). Hal ini berhubungan dengan bahan organik tanah awal dari Litosol (1,36%) lebih besar dari Alfisol (0,72%). Bahan organik tanah Litosol yang tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos maupun pupuk kandang kotoran ayam. Bahan organik tanah tertinggi sebesar 3,56 - 3,98% (Litosol); 1,3 - 2,1% (Alfisol); dan 0,97 - 1,85% (Entisol) (Tabel 8). Penggunaan berbagai jenis biochar dan pupuk organik belum menunjukkan perbedaan yang mencolok pada bahan organik tanah Entisol pada hari ke-7 tetapi tidak demikian pada hari ke-14. Hal ini menunjukkan kenaikan bahan organik tanah Entisol secara tajam dimulai pada hari ke-14 (0,94 - 2,5%). Namun bahan organik tanah Alfisol dari perlakuan campuran biochar dan

pupuk organik cenderung lebih baik daripada hanya diberi biochar saja pada hari ke-7 (Tabel 8).

Tabel 9. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-7 (%)		
	Entisol	Litosol	Alfisol
Kontrol	0.758 ±0.067 a	1.590 ±0.018 A	1.127 ±0.000 a
S	1.119 ±0.001 ab	1.891 ±0.065 Ab	1.334 ±0.307 ab
T	1.415 ±0.282 ab	3.169 ±0.470 Ef	1.631 ±0.148 abc
J	1.849 ±0.269 b	3.981 ±0.494 G	1.581 ±0.161 abc
SA	1.476 ±0.005 ab	2.596 ±0.139 Cd	1.945 ±0.144 c
SK	0.974 ±0.141 ab	2.245 ±0.276 Bcd	1.673 ±0.278 abc
TA	1.469 ±0.133 ab	2.654 ±0.141 D	1.723 ±0.492 bc
TK	1.800 ±0.000 b	2.099 ±0.419 Bc	1.938 ±0.141 c
JA	1.690 ±0.281 b	3.780 ±0.370 G	2.099 ±0.556 c
JK	1.693 ±0.154 b	3.559 ±0.639 fg	2.109 ±0.365 c
A	1.414 ±0.281 ab	2.684 ±0.162 de	2.021 ±0.162 c
K	1.400 ±0.311 ab	2.436 ±0.570 cd	1.612 ±0.321 abc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Setelah hari-14, bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (Entisol), biochar tongkol jagung yang tidak berbeda dengan campuran biochar jengkok tembakau dan kompos (Litosol), serta biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar tongkol jagung (Alfisol). Telah dilaporkan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Total karbon dari tongkol jagung dan jengkok tembakau, berturut-turut 46% dan 40% yang lebih tinggi dari perlakuan lainnya. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amendemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009).

Bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (Entisol dan Alfisol) serta biochar tongkol jagung (Litosol) pada hari ke-28 (Tabel 5) dan ke-56 (Tabel 11). Kemungkinan pengaruh dari rasio C/N dan pH pada dekomposisi bahan organik. Rasio C/N pada kedua tanah sama (7) sedangkan pH tanah Entisol (5,5) dan Alfisol (5,3) cenderung masam sehingga perlakuan biochar jengkok tertinggi untuk meningkatkan bahan organik pada kedua jenis tanah (Entisol dan Alfisol).

Tabel 10. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-14 (%)		
	Entisol	Litosol	Alfisol
Kontrol	0.724 ±0.068 a	1.598 ±0.011 a	1.057 ±0.069 a
S	1.303 ±0.087 e	2.348 ±0.209 b	1.879 ±0.055 c
T	1.505 ±0.138 f	4.467 ±0.150 e	3.433 ±0.037 g
J	2.486 ±0.173 i	3.988 ±0.031 d	3.404 ±0.078 g
SA	1.032 ±0.022 bc	2.245 ±0.136 b	1.685 ±0.024 b
SK	1.085 ±0.037 cd	2.775 ±0.158 c	1.656 ±0.060 b
TA	1.201 ±0.042 de	2.728 ±0.025 c	2.588 ±0.345 f
TK	1.823 ±0.040 g	3.010 ±0.090 d	1.926 ±0.010 cd
JA	1.638 ±0.075 f	2.889 ±0.032 c	2.236 ±0.051 e
JK	1.906 ±0.140 h	4.647 ±0.061 e	2.583 ±0.010 f
A	1.299 ±0.051 e	2.267 ±0.036 b	2.099 ±0.026 d
K	0.940 ±0.044 b	3.130 ±0.157 c	1.793 ±0.025 bc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Kandungan liat pada tanah Litosol lebih rendah daripada Alfisol. Kemampuan tanah menahan air terletak pada kandungan liat. Kapasitas pegang air dari biochar tongkol jagung (249,6%) lebih tinggi daripada biochar jengkok (143,7%). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat meningkatkan kapasitas tanah menahan air sehingga biochar dapat mempertahankan air dalam tanah Litosol sehingga reaktivitasnya meningkat, baik mikroba untuk memperbanyak diri dan untuk berbagai unsur dan senyawa lainnya serta kelembaban tanah untuk laju dekomposisi.

Tabel 11. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-28 (%)		
	Entisol	Litosol	Alfisol
Kontrol	0.859 ±0.026 a	1.598 ±0.011 A	1.202 ±0.075 a
S	1.267 ±0.199 bc	2.624 ±0.030 D	1.990 ±0.031 c
T	1.966 ±0.020 e	5.004 ±0.088 I	2.870 ±0.062 f
J	3.042 ±0.040 f	4.143 ±0.029 H	3.368 ±0.021 g
SA	1.187 ±0.052 bc	2.724 ±0.045 De	1.539 ±0.035 b
SK	1.142 ±0.087 b	2.913 ±0.009 f	1.380 ±0.222 b
TA	1.509 ±0.068 d	3.247 ±0.066 b	1.528 ±0.020 b
TK	1.650 ±0.513 d	2.854 ±0.045 ef	1.995 ±0.038 c
JA	1.906 ±0.027 e	2.448 ±0.037 c	2.232 ±0.017 d
JK	1.888 ±0.010 e	3.532 ±0.027 g	2.453 ±0.023 e
A	1.332 ±0.034 c	2.241 ±0.023 b	1.949 ±0.026 c
K	1.228 ±0.050 bc	2.654 ±0.240 d	1.960 ±0.020 c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 12 menunjukkan bahan organik tanah tertinggi pada campuran biochar tongkol jagung dan kompos (Entisol), biochar jengkok tembakau (Litosol), dan biochar tongkol jagung yang tidak berbeda nyata dengan biochar jengkok tembakau (Alfisol) pada akhir pengamatan (hari ke-98). Bahan organik tanah Litosol dari perlakuan biochar sekam padi meningkat dari 2,5% menjadi 2,8 - 2,9% jika biochar sekam dicampur pupuk organik (pupuk kandang kotoran ayam maupun kompos).

Pengamatan hari ke-98 menunjukkan bahan organik tanah Entisol yang meningkat 2 - 2,4 kali jika biochar tongkol jagung dicampur pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang kotoran ayam). Sebaliknya bahan organik tanah Litosol maupun Alfisol menurun 1,3 - 1,5 kali jika biochar tongkol dicampur pupuk organik. Demikian pula bahan organik tanah Litosol dan Alfisol menurun sebesar 1,1 - 1,4 kali jika biochar jengkok tembakau digunakan bersama pupuk organik.

Tabel 12. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-56 (%)		
	Entisol	Litosol	Alfisol
Kontrol	0.871 ±0.024 a	1.598 ±0.011 a	1.057 ±0.069 a
S	1.052 ±0.030 bc	2.366 ±0.036 c	1.782 ±0.017 d
T	1.580 ±0.020 e	4.523 ±0.340 g	2.240 ±0.026 e
J	2.792 ±0.043 g	3.807 ±0.017 f	3.083 ±0.057 g
SA	0.937 ±0.014 ab	1.794 ±0.036 b	1.593 ±0.065 d
SK	1.266 ±0.013 cd	1.870 ±0.018 b	1.298 ±0.085 b
TA	1.097 ±0.026 bc	1.990 ±0.045 b	1.121 ±0.041 a
TK	1.247 ±0.016 d	2.520 ±0.098 c	1.674 ±0.087 d
JA	3.252 ±0.052 h	3.252 ±0.052 e	2.647 ±0.096 e
JK	2.044 ±0.014 f	3.291 ±0.101 e	2.476 ±0.014 f
A	1.110 ±0.013 cd	3.021 ±0.112 d	1.634 ±0.030 d
K	1.100 ±0.021 cd	2.922 ±0.060 d	1.410 ±0.026 c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Dinamika kadar bahan organik dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Perubahan kadar bahan organik meningkat, menurun, ataupun tetap tidak terlepas dari proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum kadar bahan organik cenderung tetap, naik atau turun pada masing-masing pengamatan tergantung aplikasi biochar-pupuk organik maupun jenis tanah.

Biochar jengkok tembakau yang diterapkan pada Entisol menunjukkan bahan organik tertinggi sampai hari ke-28 dan akan semakin meningkat jika dicampur dengan pupuk kandang kotoran ayam pada hari ke-56, selanjutnya menurun sampai hari ke-98.

Bahan organik tanah Litosol cenderung terus meningkat tajam hingga hari ke-28 dari perlakuan biochar tongkol jagung, selanjutnya semakin menurun sampai hari ke-98. Tidak demikian jika menggunakan biochar jengkok tembakau. Bahan organik tanah Litosol tidak mengalami lonjakan tajam naik maupun turun dari waktu ke waktu dari perlakuan biochar jengkok tembakau. Berbeda jika biochar jengkok tembakau dicampur dengan kompos, bahan organik tanah Litosol mengalami kenaikan dan penurunan pada hari ke-14 sampai hari ke-28, selanjutnya relatif sama hingga hari ke-98. Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.*, 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

Tabel 13. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Bahan organik tanah setelah inkubasi hari ke-98 (%)		
	Entisol	Litosol	Alfisol
Kontrol	0.865 ±0.062 a	1.655 ±0.203 a	1.094 ±0.148 a
S	1.260 ±0.087 cd	2.491 ±0.035 b	1.754 ±0.039 bc
T	1.426 ±0.105 de	3.270 ±0.017 d	2.553 ±0.053 g
J	1.405 ±0.027 de	4.037 ±0.608 e	2.641 ±0.082 g
SA	0.983 ±0.050 ab	2.752 ±0.018 c	2.189 ±0.039 e
SK	2.024 ±0.063 f	2.874 ±0.047 c	1.847 ±0.049 cd
TA	2.890 ±0.090 g	2.625 ±0.027 b	1.689 ±0.043 bc
TK	3.424 ±0.037 h	2.330 ±0.044 b	2.001 ±0.044 e
JA	1.647 ±0.108 e	3.437 ±0.027 d	2.482 ±0.054 f
JK	1.414 ±0.025 d	3.448 ±0.020 d	1.920 ±0.200 d
A	1.105 ±0.018 b	2.594 ±0.017 b	1.509 ±0.035 b
K	1.217 ±0.036 c	2.933 ±0.033 c	1.870 ±0.203 c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Bahan organik tanah Alfisol lebih tinggi pada perlakuan biochar jengkok tembakau dibandingkan perlakuan lainnya sampai hari ke-98. Bahan organik tanah Litosol meningkat hingga hari ke-14, selanjutnya menurun terus hingga hari ke-98.

10.2. Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan jumlah total ion dapat ditukar yang bermuatan positif (meq/100 g tanah). Sebuah KTK lebih tinggi menunjukkan kapasitas yang

lebih tinggi dari tanah untuk menyerap dan menahan unsur hara dan karenanya ketersediaan hara menjadi lebih tinggi (Novak *et al.*, 2009). Biochar diperkirakan meningkatkan KTK karena kemampuannya untuk meningkatkan kadarunsur hara dan ketersediaan hara dalam tanah. Banyak tanah lokal mengandung liat tinggi dan bahan organik, yang mengarah KTK > 30 meq / 100 g tanah. Tanah berpasir di dekat pantai yang rendah liat dan bahan organik <10 meq / 100 g tanah. Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600°C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al.*, 2007; Lehmann, 2007a; Navia & Crowley, 2010). Temuan mereka menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit.

KTK merupakan sifat kimia yang berhubungan dengan kesuburan tanah. Tanah yang mengandung bahan organik atau liat tinggi memiliki KTK lebih tinggi daripada yang bahan organik rendah atau tanah berpasir (Hardjowogono, 2007). Nilai KTK tergantung pada karakteristik tanah. KTK tanah dipengaruhi oleh pH, tekstur atau jumlah liat, jenis mineral liat, bahan organik, pengapuran dan pemupukan. Semakin halus tekstur tanah semakin tinggi KTK tanah. Proses penyerapan unsur hara oleh koloid tanah tidak berlangsung intensif pada KTK yang rendah dan akibatnya unsur-unsur hara mudah tercuci dan hilang melalui infiltrasi maupun perkolasi air ke dalam tanah sehingga hara tidak tersedia bagi tanaman.

Tabel 14. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-7

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	11.700 ± 0.500	a	24.200 ± 0.173	a	32.363 ± 2.713	a
S	17.010 ± 1.674	b	32.530 ± 2.001	b	43.565 ± 4.569	bc
T	18.763 ± 2.202	b	33.872 ± 0.000	b	41.584 ± 1.097	bc
J	19.120 ± 1.074	b	35.566 ± 0.057	bc	47.979 ± 2.759	cd
SA	16.286 ± 2.179	ab	34.199 ± 1.630	bc	52.165 ± 0.029	d
SK	17.436 ± 1.716	b	32.392 ± 0.531	b	42.098 ± 1.642	c
TA	18.619 ± 1.602	b	35.651 ± 2.842	b	44.767 ± 1.966	c
TS	18.676 ± 1.100	b	32.159 ± 0.740	b	44.625 ± 0.556	c
JA	17.790 ± 1.680	b	37.532 ± 2.226	c	49.283 ± 1.104	d
JK	17.582 ± 1.602	b	38.008 ± 1.404	c	51.019 ± 1.118	d
A	17.284 ± 0.565	b	37.264 ± 1.104	c	38.084 ± 1.019	b
K	17.903 ± 2.107	b	37.118 ± 2.254	c	46.179 ± 0.563	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Semua perlakuan dapat meningkatkan nilai KTK tanah pada 7 hari inkubasi. Kenaikan nilai KTK pada Entisol relatif sama pada semua perlakuan (53%) tetapi pada tanah Alfisol dan Litosol tergantung perlakuan yang diberikan. Penggunaan pupuk organik secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan biochar jengkok pada Litosol dapat meningkatkan nilai KTK yang sama, sebesar 55%, sedangkan perlakuan lainnya meningkatkan nilai KTK sebesar 40%. Pada tanah Alfisol, kenaikan nilai KTK lebih tinggi dari perlakuan biochar sekam+pupuk kandang ayam (63%) daripada perlakuan biochar+kompos (38%), tetapi kenaikan nilai KTK adalah sama antara perlakuan biochar tongkol jagung yang diaplikasi secara tunggal maupun yang digunakan bersama dengan pupuk kandang ayam ataupun kompos (35%). Perlakuan biochar jengkok secara tunggal tidak berbeda jika digunakan bersama pupuk organik, dengan kenaikan nilai KTK sebesar 53%. Kenaikan nilai KTK pada inkubasi 7 hari telah merubah status KTK tanah Alfisol dari tinggi (25-40 c mol kg⁻¹) menjadi sangat tinggi (>40 c mol kg⁻¹) dengan semua perlakuan (Tabel 2). Hasil penelitian menunjukkan nilai KTK tanah Alfisol berkurang pada inkubasi selanjutnya (14-98 hari) dengan status tinggi pada semua perlakuan (Tabel 3-6). Setelah inkubasi 14 hari, KTK tanah Alfisol relatif tinggi (33-42 me/100 g⁻¹) diberi perlakuan dan kontrol.

Tabel 15. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-14

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	11.700 ± 0.500	a	24.200 ± 0.173	a	33.159 ± 0.256	a
S	14.885 ± 0.208	c	31.100 ± 0.889	b	34.097 ± 0.678	b
T	16.451 ± 0.026	e	32.167 ± 0.351	c	36.740 ± 0.129	c
J	18.572 ± 0.326	f	35.500 ± 0.537	e	38.285 ± 0.825	d
SA	16.537 ± 0.538	de	32.133 ± 0.058	c	39.649 ± 0.121	e
SK	16.689 ± 0.117	de	31.726 ± 1.062	bc	32.795 ± 0.110	a
TA	15.084 ± 0.025	d	33.867 ± 0.473	d	40.593 ± 0.065	ef
TS	13.300 ± 0.173	b	31.020 ± 0.296	b	39.487 ± 0.132	de
JA	15.578 ± 0.451	d	36.400 ± 0.361	f	39.244 ± 0.110	de
JK	16.264 ± 0.137	de	39.063 ± 0.351	g	40.809 ± 0.602	f
A	16.226 ± 0.106	de	36.751 ± 0.171	f	38.833 ± 0.142	de
K	16.724 ± 0.101	e	36.887 ± 0.007	f	41.547 ± 0.269	g

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Perlakuan memberikan variasi terhadap kenaikan nilai KTK pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-14. Nilai KTK Entisol tergolong rendah (5-16 cmol kg⁻¹) tetapi perlakuan biochar jengkok dapat meningkatkan pada status sedang (17-24 cmol kg⁻¹). Pada

Litosol menunjukkan bahwa status nilai KTK yang sedang (kontrol) meningkat menjadi tinggi (perlakuan) sedangkan pada tanah Alfisol menunjukkan relatif tidak ada perubahan status nilai KTK (kategori tinggi dengan KTK 25-40 cmol kg⁻¹).

Tingkat perubahan nilai KTK menunjukkan trend yang sama sejak inkubasi hari ke-7 hingga ke-98 pada Entisol dan Litosol. KTK dari ketiga jenis tanah, yaitu rendah (Entisol) serta tinggi (Litosol dan Alfisol) pada inkubasi 28 hari. Inkubasi 28 hari, ketiga jenis biochar yang dicampur pupuk kandang ayam meningkatkan nilai KTK Entisol dan Litosol yang lebih baik daripada aplikasi biochar secara tunggal. Khususnya Litosol, hal tersebut telah konsisten mulai inkubasi 14, 28, 56, dan 98 hari. Namun pada Alfisol, nilai KTK sangat beragam tergantung perlakuan pada 28 hari tetapi hasil yang serupa terjadi pada 7-14 hari.

Tabel 16. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-28

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	11.700 ± 0.500	a	24.200 ± 0.173	a	32.578 ± 0.508	a
S	14.461 ± 0.211	cd	29.133 ± 0.024	b	33.989 ± 0.312	b
T	15.517 ± 0.320	de	31.487 ± 0.110	d	36.876 ± 0.158	e
J	14.768 ± 0.145	cd	35.249 ± 1.122	f	35.061 ± 0.161	c
SA	14.814 ± 0.105	d	31.480 ± 0.302	d	34.388 ± 0.290	bc
SK	13.077 ± 0.009	b	28.540 ± 0.202	b	33.599 ± 0.051	b
TA	15.878 ± 0.200	e	34.208 ± 0.201	e	35.098 ± 0.051	b
TS	14.183 ± 0.106	cd	32.083 ± 0.695	d	38.176 ± 0.022	f
JA	15.785 ± 0.061	e	35.608 ± 0.447	f	34.753 ± 0.208	c
JK	12.967 ± 0.208	b	30.050 ± 0.276	c	36.200 ± 0.050	de
A	13.832 ± 0.379	bc	35.937 ± 0.143	fg	35.554 ± 0.397	cd
K	15.152 ± 0.933	de	36.518 ± 0.164	g	36.055 ± 0.038	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pada akhir inkubasi (98 hari), pemberian biochar dan pupuk organik dapat meningkatkan nilai KTK sebesar hampir 2 kali pada Entisol. Kenaikan nilai KTK Entisol tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok. Sementara itu ketiga jenis biochar maupun pupuk organik menunjukkan nilai KTK yang relatif sama pada Entisol. Kombinasi perlakuan antara biochar dan pupuk organik menunjukkan nilai KTK tanah Entisol yang lebih rendah dibandingkan penggunaan secara tunggal (kecuali biochar jengkok+pupuk kandang ayam). Pada 98 hari, nilai KTK dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada perlakuan pupuk organik pada Litosol. Penggunaan kombinasi biochar dengan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada aplikasi tunggal pada Litosol.

Penggunaan bersama antara biochar dan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada penggunaan secara tunggal pada tanah Alfisol. Aplikasi kombinasi biochar sekam+pupuk kandang ayam lebih baik daripada penggunaan secara tunggal, kombinasi biochar tongkol+kompos lebih baik daripada aplikasi secara tunggal, kombinasi biochar jengkok+kompos tidak berbeda dengan kombinasi biochar jengkok+pupuk kandang ayam dan menunjukkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada digunakan secara tunggal (Tabel 6).

Tabel 17. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-56

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g ⁻¹)							
	Entisol			Litosol			Alfisol	
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	31.464	± 0.306 a
S	13.333	± 0.231	b	26.567	± 0.115	b	33.133	± 0.058 c
T	16.800	± 0.100	e	30.700	± 0.656	e	37.786	± 0.021 h
J	14.287	± 0.203	c	31.394	± 0.212	f	36.108	± 0.023 g
SA	17.267	± 0.153	f	28.531	± 0.086	c	33.825	± 0.057 d
SK	16.533	± 0.252	e	28.838	± 0.114	c	34.138	± 0.030 e
TA	15.067	± 0.153	d	32.888	± 0.084	g	35.767	± 0.051 f
TS	17.333	± 0.208	f	30.094	± 0.020	d	33.288	± 0.020 c
JA	13.887	± 0.109	b	33.700	± 0.173	h	32.321	± 0.010 b
JK	13.342	± 0.235	b	30.734	± 0.075	e	35.825	± 0.113 f
A	17.500	± 0.300	f	32.851	± 0.048	g	34.095	± 0.015 e
K	11.931	± 0.073	a	30.715	± 0.058	e	33.667	± 0.052 d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Jenis tanah Litosol menunjukkan KTK dengan tren yang relatif tetap dari waktu ke waktu dan semua perlakuan kontrol menunjukkan KTK yang terendah. Berbeda dengan tanah Alfisol, KTK tanah sedikit menurun pada 14 hari kemudian relatif sama hingga akhir pengamatan. Perlakuan pada tanah bertekstur liat (Litosol dan Alfisol) menunjukkan perbedaan diantara kedua jenis tanah hanya pada 14 hari. KTK Alfisol menurun dari 7 ke 14 hari selanjutnya tren KTK relatif sama hingga 98 hari, tetapi pada Litosol tidak ada perubahan nilai KTK. Tidak demikian dengan tanah berpasir (Entisol) yang sedikit ada peningkatan nilai KTK pada 98 hari.

Tabel 18. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-98

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	8.733	± 0.473	a	24.733	± 0.513	a	31.464	± 0.306	a
S	17.691	± 1.252	de	31.897	± 0.145	c	37.945	± 0.156	ef
T	17.639	± 0.703	de	32.687	± 0.301	d	34.939	± 0.171	d
J	18.326	± 0.762	ef	34.367	± 0.666	f	33.358	± 0.587	c
SA	15.752	± 0.965	c	34.873	± 0.404	f	41.363	± 0.645	g
SK	15.604	± 0.420	c	32.728	± 0.169	d	32.206	± 0.700	b
TA	17.886	± 0.295	de	34.447	± 1.129	f	34.665	± 0.680	cd
TS	15.319	± 0.553	c	33.246	± 0.509	de	37.036	± 0.121	e
JA	17.255	± 0.844	d	34.332	± 0.495	f	37.445	± 0.493	ef
JK	13.098	± 0.200	b	33.633	± 0.451	e	38.000	± 0.100	f
A	18.900	± 0.755	f	30.125	± 0.263	b	35.376	± 0.552	d
K	17.295	± 0.355	d	29.960	± 0.918	b	33.856	± 0.950	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

10.3.pH tanah

Biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun kombinasi memiliki efek menaikkan pH tanah. Meningkatkan pH tanah mungkin memberikan kontribusi yang paling penting untuk meningkatkan kualitas tanah. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann, 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa pirolisis dapat meningkatkan pH dari bahan baku menjadi biochar seperti: pH biochar sekam 9,44 dan pH sekam padi 4,30; pH biochar tongkol jagung 9,46 sedangkan pH tongkol jagung 5,10; pH biochar jengkok 8,91 sedangkan pH jengkok 5,6. Pupuk kandang ayam mempunyai pH 6,0 dan kompos 7,3. Biochar yang digunakan pada penelitian ini mempunyai pH yang bersifat basa sedangkan pH pupuk organik cenderung netral. Basa adalah akseptor proton, yang mengurangi konsentrasi ion bermuatan positif di dalam tanah, yang menyebabkan pH di atas 7. Menurut Hakim *et al.* (1986) faktor yang mempengaruhi pH antara lain: Kejenuhan basa, sifat misel (koloid), macam kation yang terjerap.

Hari 7

Secara umum menunjukkan bahwa pH tanah Entisol dan Litosol meningkat dengan aplikasi biochar dan pupuk organik pada 7 hari inkubasi (Tabel 20). Akan tetapi pH tanah Alfisol belum meningkat dengan pemberian biochar tongkol maupun kompos.

Inkubasi 7 hari di Entisol, perlakuan biochar sekam, biochar tongkol, pupuk kandang, dan kompos secara tunggal maupun campuran dapat meningkatkan nilai pH

sebesar 0,3 unit dari 6,03 menjadi 6,34. Namun biochar jengkok terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,7 unit dari 6,03 menjadi 6,70. Pada inkubasi 7 hari di Litosol menunjukkan pH tertinggi pada perlakuan biochar tongkol dan jengkok, yaitu 0,4 unit dari 6,80 menjadi 7,22. Berbeda pada tanah Alfisol, penggunaan pupuk kandang tunggal ataupun yang dicampur dengan biochar tongkol terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,4 unit, dari 5,93 menjadi 6,35.

Tabel 19. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 7 hari								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	6.033	± 0.058	a	6.800	± 0.200	120	5.933	± 0.058	195
S	6.233	± 0.058	b	7.000	± 0.000	bc	6.100	± 0.000	ab
T	6.167	± 0.058	ab	7.200	± 0.000	d	6.033	± 0.058	a
J	6.700	± 0.000	d	7.200	± 0.000	d	6.233	± 0.058	bc
SA	6.333	± 0.058	bc	7.000	± 0.000	bc	6.300	± 0.000	b
SK	6.267	± 0.058	bc	7.000	± 0.000	bc	6.167	± 0.115	ab
TA	6.400	± 0.100	c	7.000	± 0.000	bc	6.333	± 0.115	c
TS	6.200	± 0.100	b	7.000	± 0.000	bc	6.133	± 0.058	ab
JA	6.433	± 0.058	c	6.933	± 0.058	bc	6.267	± 0.058	bc
JK	6.633	± 0.058	bc	7.167	± 0.058	cd	6.267	± 0.058	bc
A	6.400	± 0.000	c	6.833	± 0.058	ab	6.367	± 0.289	c
K	6.333	± 0.058	bc	7.033	± 0.058	bc	6.067	± 0.416	a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Sampai hari ke-14, semua perlakuan dapat meningkatkan pH di tiga jenis tanah (Tabel 21). Pada inkubasi 14 hari, kenaikan pH Entisol terbaik dari beberapa perlakuan, yaitu biochar jengkok, campuran kompos dengan biochar jengkok maupun tongkol serta pupuk kandang ayam. Kenaikan pH Entisol sebesar 0,8 unit dari 6,0 menjadi 6,8. Perlakuan biochar jengkok yang dicampur kompos yang diterapkan pada Litosol merupakan perlakuan terbaik dalam meningkatkan pH tanah (0,5 unit), dari 6,7 menjadi 7,2 sedangkan perlakuan lainnya sekitar 7,0. Hampir semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah Alfisol sebesar 0,8 unit dari 5,77 menjadi 6,53.

Tabel 20. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 14 hari								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	6.000	± 0.100	a	6.767	± 0.115	116	5.767	± 0.058	a
S	6.200	± 0.100	b	7.033	± 0.058	bc	6.533	± 0.058	d
T	6.600	± 0.100	d	7.067	± 0.058	cd	6.233	± 0.058	ab
J	6.867	± 0.058	e	7.067	± 0.058	cd	6.533	± 0.058	d
SA	6.200	± 0.100	b	7.033	± 0.058	bc	6.500	± 0.100	d
SK	6.367	± 0.153	c	7.033	± 0.058	bc	6.333	± 0.058	bc
TA	6.200	± 0.100	b	7.033	± 0.058	bc	6.533	± 0.058	d
TS	6.733	± 0.153	e	7.067	± 0.058	bc	6.233	± 0.058	ab
JA	6.567	± 0.115	d	7.067	± 0.058	cd	6.500	± 0.100	d
JK	6.833	± 0.058	e	7.200	± 0.100	d	6.433	± 0.058	cd
A	6.733	± 0.058	e	6.933	± 0.058	b	6.533	± 0.058	d
K	6.233	± 0.115	bc	6.867	± 0.058	ab	6.400	± 0.100	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

pH Entisol pada inkubasi 28-56 hari menunjukkan trend yang sama dengan inkubasi sebelumnya, yaitu perlakuan terbaik dari biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan kompos. Kenaikan pH Entisol sebesar 0,9-1 unit dari 6,0 menjadi 6,9 (28 hari) dan dari 6,0 menjadi 7,0. Sementara itu sebagian besar perlakuan meingkatkan pH Litosol sebesar 0,4 unit dari 6,77 menjadi 7,15 tetapi khususnya perlakuan biochar jengkok dan kompos menghasilkan kenaikan pH tertinggi sebesar 7,37. pH tanah Alfisol meningkat dengan semua perlakuan. Kenaikan pH dari 5,77 menjadi 6,10 sampai 6,73 dan terendah pada kompos dan tertinggi pada biochar sekam padi (Tabel 22).

Tabel 21. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 28 hari								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	6.067	± 0.058	a	6.767	± 0.115	116	5.767	± 0.058	a
S	6.213	± 0.115	b	7.167	± 0.058	bc	6.733	± 0.153	f
T	6.533	± 0.058	d	7.267	± 0.058	cd	6.267	± 0.058	c
J	6.967	± 0.058	f	7.167	± 0.058	bc	6.333	± 0.058	c
SA	6.233	± 0.058	b	7.067	± 0.058	ab	6.467	± 0.058	d
SK	6.533	± 0.058	d	7.167	± 0.058	bc	6.233	± 0.058	c
TA	6.333	± 0.058	bc	7.067	± 0.058	ab	6.433	± 0.058	d
TS	6.333	± 0.058	bc	7.167	± 0.058	bc	6.433	± 0.058	ef
JA	6.733	± 0.058	e	7.133	± 0.058	ab	6.633	± 0.058	e
JK	6.900	± 0.100	f	7.367	± 0.058	d	6.467	± 0.058	d
A	6.333	± 0.058	bc	7.067	± 0.058	ab	6.533	± 0.058	de
K	6.433	± 0.058	cd	7.233	± 0.058	c	6.100	± 0.100	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Inkubasi ke-56 hari menunjukkan kenaikan pH Litosol dari 6,77 menjadi 7,13 pada semua perlakuan, kecuali biochar jengkok sebesar 7,40 (Tabel 23). Semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah Alfisol sebesar 0,7 dari 5,77 menjadi 6,51 akan tetapi khususnya perlakuan biochar tongkok yang dicampur kompos serta biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang dapat menaikkan pH sebesar 0,95 unit menjadi 6,72.

Tabel 22. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 56 hari								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	6.067	± 0.058	a	6.767	± 0.115	a	5.767	± 0.058	a
S	6.533	± 0.058	de	7.167	± 0.058	b	6.550	± 0.050	c
T	6.467	± 0.058	d	7.067	± 0.058	b	6.333	± 0.058	b
J	7.067	± 0.115	f	7.400	± 0.100	c	6.667	± 0.058	de
SA	6.100	± 0.100	ab	7.100	± 0.100	b	6.667	± 0.058	de
SK	6.367	± 0.058	c	7.167	± 0.153	b	6.333	± 0.058	b
TA	6.300	± 0.100	c	7.100	± 0.100	b	6.367	± 0.058	bc
TS	6.533	± 0.058	de	7.167	± 0.153	b	6.700	± 0.100	e
JA	6.867	± 0.058	e	7.200	± 0.100	b	6.733	± 0.058	e
JK	7.067	± 0.058	f	7.200	± 0.100	b	6.667	± 0.058	de
A	6.200	± 0.100	bc	7.067	± 0.058	b	6.433	± 0.058	bc
K	6.667	± 0.058	de	7.100	± 0.100	b	6.567	± 0.058	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi, semua perlakuan meningkatkan pH dari ketiga jenis tanah (Tabel 24). Kenaikan masing-masing pH Entisol dari biochar sekam yang dicampur kompos maupun biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik. Kenaikan pH Entisol dari 6,07 menjadi 7,00. Semua perlakuan meningkatkan pH tanah Litosol dari 6,88 menjadi 7,13 sampai 7,37. Kenaikan pH tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dan biochar jengkok. Demikian pula yang terjadi pada tanah Alfisol, kenaikan pH dari 5,80 menjadi 6,23 sampai 6,61. Kenaikan tertinggi dari perlakuan biochar sekam dan biochar tongkol.

Tabel 23. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	pH tanah pada inkubasi 98 hari								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	6.067	± 0.058	a	6.867	± 0.115	220	5.800	± 0.100	26
S	6.467	± 0.153	bc	7.233	± 0.058	bc	6.633	± 0.058	e
T	6.500	± 0.100	c	7.367	± 0.058	d	6.633	± 0.058	e
J	6.700	± 0.100	d	7.367	± 0.058	d	6.567	± 0.058	de
SA	6.600	± 0.100	cd	7.167	± 0.058	bc	6.333	± 0.058	bc
SK	6.900	± 0.100	e	7.267	± 0.058	cd	6.333	± 0.058	bc
TA	7.133	± 0.058	e	7.167	± 0.058	bc	6.500	± 0.000	de
TS	6.600	± 0.100	cd	7.267	± 0.058	cd	6.300	± 0.000	b
JA	6.533	± 0.058	c	7.267	± 0.058	cd	6.533	± 0.058	de
JK	6.567	± 0.058	c	7.233	± 0.058	bc	6.533	± 0.058	de
A	6.333	± 0.058	b	7.133	± 0.058	b	6.233	± 0.058	b
K	6.500	± 0.100	c	7.267	± 0.058	cd	6.467	± 0.058	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

10.4.Kejenuhan Basa (KB)

Hari 7

Inkubasi 7 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang (Entisol) dan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang yang tidak berbeda dengan hanya pupuk kandang (Alfisol). Sedangkan pada Litosol, semua perlakuan memberikan KB yang sama (Tabel 26).

Tabel 24. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 7 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	62.596	± 4.604	a	98.058	± 0.227	a	42.938	± 1.814	a
S	85.479	± 4.335	194	100.088	± 0.470	a	46.031	± 7.053	ab
T	81.804	± 1.277	b	97.920	± 3.282	a	50.440	± 1.131	ab
J	88.606	± 3.697	bcd	99.944	± 0.504	a	54.004	± 1.426	bcd
SA	99.185	± 1.395	d	99.737	± 0.151	a	44.213	± 1.600	ab
SK	85.208	± 6.834	bc	96.016	± 2.928	a	58.383	± 4.885	cd
TA	95.031	± 4.151	cd	96.583	± 2.377	a	58.667	± 1.722	cd
TS	92.991	± 9.081	bcd	96.475	± 1.504	a	64.562	± 3.305	d
JA	91.465	± 5.099	bcd	98.826	± 0.837	a	54.101	± 2.681	bcd
JK	97.792	± 5.677	cd	97.697	± 2.299	a	45.725	± 0.089	ab
A	91.513	± 1.721	bcd	96.570	± 1.561	a	64.436	± 2.418	d
K	84.588	± 4.844	bc	99.620	± 0.554	a	46.698	± 3.237	ab

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

44

Inkubasi 14 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam (Entisol) dan biochar jengkok tunggal tidak berbeda dengan yang dicampur kompos (Alfisol). Akan tetapi pada Litosol, KB menurun dengan pemberian pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang). Sedangkan perlakuan lainnya tidak berbeda dengan kontrol (Tabel 27).

Tabel 25. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 14 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	54.299	± 1.976	a	98.168	± 0.216	bc	43.295	± 0.389	a
S	77.633	± 3.014	b	99.990	± 0.708	c	70.708	± 0.589	d
T	86.989	± 1.204	e	99.694	± 0.893	c	67.092	± 1.903	c
J	93.000	± 0.637	h	98.666	± 2.835	bc	80.230	± 0.500	f
SA	81.914	± 2.177	c	100.289	± 0.213	c	73.591	± 1.616	de
SK	84.617	± 0.679	d	97.986	± 0.538	bc	63.286	± 2.182	b
TA	84.992	± 1.430	d	95.448	± 0.826	b	68.727	± 0.624	c
TS	91.331	± 0.098	gh	99.374	± 0.321	c	62.739	± 0.566	b
JA	88.934	± 2.923	ef	100.066	± 0.430	c	63.735	± 1.047	b
JK	89.950	± 1.633	fg	99.805	± 1.011	c	82.496	± 1.783	f
A	96.378	± 0.393	i	90.527	± 0.485	a	74.132	± 0.195	e
K	91.737	± 1.259	gh	88.150	± 0.346	a	72.035	± 1.172	de

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Inkubasi 28 hari menunjukkan KB tertinggi pada biochar jengkok (Entisol) dan biochar sekam (Alfisol). Sedangkan pada Litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 28).

Tabel 26. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 28 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	52.399	± 2.267	a	98.441	± 0.621	ab	44.165	± 0.921	a
S	81.472	± 0.800	d	100.170	± 0.339	b	82.774	± 1.459	g
T	85.490	± 0.412	e	100.307	± 0.032	b	72.969	± 1.006	de
J	97.093	± 2.819	h	96.904	± 3.733	a	74.774	± 0.822	de
SA	71.701	± 2.076	b	99.698	± 0.028	ab	77.457	± 0.483	ef
SK	88.635	± 0.536	f	97.079	± 1.339	ab	68.702	± 1.527	c
TA	78.045	± 0.742	c	99.803	± 0.151	ab	74.385	± 0.649	de
TS	87.844	± 1.302	ef	99.381	± 1.136	ab	74.413	± 1.008	de
JA	88.843	± 0.308	f	99.534	± 0.689	ab	77.293	± 1.517	ef
JK	92.498	± 0.123	g	98.654	± 1.851	ab	76.852	± 0.656	ef
A	88.770	± 1.269	f	99.420	± 1.844	ab	78.808	± 0.404	f
K	89.272	± 6.333	f	99.528	± 0.171	ab	65.467	± 1.948	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$ **Hari 56

Inkubasi 56 hari menunjukkan peningkatan KB yang bervariasi pada masing-masing jenis tanah maupun biochar-pupuk organik (Tabel 29). KB tertinggi pada biochar jengkok yang tidak berbeda ketika dicampur dengan pupuk kandang (Entisol), biochar sekam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok yang dicampur kompos maupun kompos tunggal (Litosol), dan biochar sekam yang dikombinasi pupuk kandang maupun biochar jengkok yang dikombinasi pupuk kandang (Alfisol).

Tabel 27. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 56 hari (%)								
	Entisol			Litosol		175	Alfisol		
Kontrol	51.830	± 2.360	a	98.029	± 0.261	bc	45.724	± 0.767	a
S	81.595	± 0.749	e	100.181	± 0.401	d	88.572	± 0.059	c
T	80.962	± 0.578	e	99.760	± 0.427	cd	83.992	± 0.731	b
J	99.057	± 0.852	g	99.514	± 0.714	cd	90.547	± 0.636	d
SA	75.439	± 0.396	d	99.375	± 0.543	cd	94.369	± 0.219	f
SK	69.887	± 1.857	c	99.604	± 1.034	cd	84.933	± 0.274	b
TA	63.012	± 0.234	b	97.064	± 0.709	a	84.440	± 1.644	b
TS	69.132	± 0.918	c	99.982	± 0.505	cd	90.620	± 0.075	d
JA	98.308	± 0.684	g	99.988	± 0.020	cd	94.126	± 1.778	f
JK	94.904	± 1.005	f	100.434	± 0.037	d	90.915	± 0.428	d
A	75.305	± 1.663	d	97.783	± 0.364	a	89.708	± 0.077	cd
K	93.541	± 1.016	f	100.328	± 0.088	d	92.513	± 0.365	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Sampai pengamatan terakhir (98 hari), KB tertinggi pada biochar sekam yang dikombinasi kompos (Entisol) dan biochar tongkol (Alfisol), sedangkan pada Litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 30).

Dinamika KB dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Jenis tanah Litosol menunjukkan KB dengan trend yang tidak melonjak naik atau turun dari waktu ke waktu, kecuali perlakuan kompos dan pupuk kandang. Akan tetapi KB menunjukkan tren dengan lonjakan naik dan turun dari waktu ke waktu pada tanah Alfisol. Tidak demikian dengan Entisol yang sedikit ada peningkatan dan penurunan nilai KB pada 98 hari.

Tabel 28. Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kejenuhan Basa tanah pada inkubasi 98 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	69.215	± 1.667	a	99.585	± 0.719	ab	45.728	± 0.892	a
S	86.690	± 1.867	f	96.900	± 1.860	a	59.482	± 1.684	b
T	78.517	± 7.085	cd	98.405	± 0.992	ab	75.408	± 3.213	e
J	73.762	± 1.723	b	100.297	± 0.072	b	65.347	± 3.102	d
SA	74.797	± 2.672	c	98.903	± 1.577	ab	58.382	± 5.042	b
SK	97.412	± 2.514	h	97.415	± 1.013	ab	59.969	± 3.586	b
TA	94.593	± 3.690	g	100.304	± 0.083	b	60.729	± 0.569	b
TS	82.869	± 4.791	de	98.006	± 2.788	ab	57.944	± 1.416	b
JA	69.437	± 5.756	ab	99.744	± 0.279	ab	73.008	± 3.907	c
JK	83.764	± 1.040	e	99.288	± 0.430	ab	57.112	± 2.073	b
A	86.985	± 1.347	f	98.374	± 1.685	ab	58.579	± 2.953	b
K	69.590	± 0.924	ab	99.291	± 0.963	ab	56.394	± 1.157	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

10.5.Kation Basa

Hari 7

Kation basa meningkat dengan perlakuan yang diberikan pada ketiga jenis tanah (Tabel 32). Inkubasi 7 hari pada Entisol menunjukkan kenaikan kation basa yang kurang lebih sama, dari 7,3 me 100 g⁻¹ menjadi rata-rata 16,1 me 100 g⁻¹ baik biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun campuran. Pada Litosol, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar jengkok yang dikombinasi dengan pupuk organik (pupuk organik maupun kompos), sebesar 37,1 me 100 g⁻¹ tetapi lainnya rata-rata sebesar 33,9 me 100 g⁻¹ (perlakuan) dan 23,7 me 100 g⁻¹ (kontrol). Kation basa tanah Alfisol tertinggi diperoleh pada perlakuan

biochar tongkol yang dikombinasi kompos, yaitu 28,8 me 100 g⁻¹ sedangkan lainnya 23,3 me 100 g⁻¹ (perlakuan) dan 13,1 me 100 g⁻¹ (kontrol).

Hari 14

Inkubasi 14 hari pada Entisol menunjukkan variasi kation basa dengan perlakuan yang diberikan. Kation basa tertinggi dari tanah lempung berpasir (Entisol) berbeda dengan tanah liat, tetapi kation basa dari tanah liat (Litosol dan Alfisol) diperoleh dari perlakuan yang sama (biochar jengkok dicampur kompos). Tanah Alfisol menunjukkan kenaikan kation basa yang lebih tinggi daripada Litosol dari inkubasi 7 hingga 14 hari, yaitu dari 23,3 me 100 g⁻¹ menjadi 33,7 me 100 g⁻¹ (Alfisol) serta dari 37,1 me 100 g⁻¹ menjadi 39 me 100 g⁻¹ (Litosol) (Tabel 33).

Tabel 29. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	7.308 ± 0.225	a	23.730 ± 0.133	23	13.128 ± 0.185	a
S	14.504 ± 1.000	167 bc	32.553 ± 1.854	bc	19.840 ± 1.196	b
T	15.185 ± 0.279	bc	33.168 ± 1.112	bc	20.902 ± 3.657	b
J	16.915 ± 0.266	c	35.546 ± 0.226	cd	25.887 ± 0.921	de
SA	16.149 ± 2.145	bc	34.108 ± 1.576	c	23.063 ± 0.830	cd
SK	14.804 ± 1.130	b	31.092 ± 0.524	b	24.525 ± 1.099	de
TA	17.661 ± 1.105	c	34.475 ± 3.595	c	26.276 ± 1.693	ef
TS	17.423 ± 2.651	c	31.026 ± 0.906	b	28.818 ± 1.723	f
JA	16.297 ± 2.131	bc	37.079 ± 1.884	d	26.643 ± 0.745	ef
JK	17.168 ± 1.494	c	37.118 ± 0.970	d	23.328 ± 0.496	cd
A	15.811 ± 0.220	bc	35.976 ± 0.687	cd	21.063 ± 4.827	b
K	15.075 ± 0.916	bc	36.969 ± 2.059	cd	21.553 ± 1.243	bc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan α=5%

Hari 28

Inkubasi biochar jengkok pada Entisol menunjukkan kation basa tertinggi diamati mulai 14 hari hingga 56 hari, tetapi pada Litosol diamati mulai 14 hari hingga 98 hari. Pada 28 hari inkubasi di Litosol menunjukkan bahwa kation basa tertinggi juga diperoleh pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur dengan pupuk kandang ayam. Berbeda dengan Alfisol, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur kompos pada 28 hari inkubasi (Tabel 34).

Tabel 30. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	6.348	± 0.188 a	23.756	± 0.149 a	14.355	± 0.053 a
S	11.554	± 0.407 b	31.094	± 0.773 b	24.107	± 0.399 b
T	14.310	± 0.176 ef	32.068	± 0.411 c	24.648	± 0.614 bc
J	17.271	± 0.187 h	35.016	± 0.497 e	30.714	± 0.500 f
SA	13.539	± 0.081 de	32.087	± 0.105 c	29.178	± 0.633 ef
SK	14.121	± 0.066 ef	32.134	± 0.106 c	24.047	± 0.754 b
TA	12.820	± 0.213 cd	32.691	± 0.258 cd	27.898	± 0.220 d
TS	12.147	± 0.163 bc	30.825	± 0.215 b	24.773	± 0.215 bc
JA	13.846	± 0.137 e	36.423	± 0.281 f	25.012	± 0.387 c
JK	14.629	± 0.264 f	38.989	± 0.724 g	33.659	± 0.303 g
A	15.639	± 0.163 g	33.270	± 0.264 d	28.788	± 0.177 e
K	15.342	± 0.142 g	32.516	± 0.133 cd	29.926	± 0.345 f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 31. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	6.126	± 0.242 a	23.823	± 0.302 a	14.385	± 0.102 a
S	11.781	± 0.100 c	29.182	± 0.085 c	28.132	± 0.313 e
T	13.266	± 0.278 de	31.583	± 0.110 d	26.908	± 0.389 d
J	14.336	± 0.309 f	34.130	± 0.345 e	26.216	± 0.250 c
SA	9.621	± 0.244 b	31.385	± 0.303 d	26.636	± 0.324 cd
SK	11.591	± 0.078 c	27.705	± 0.251 b	23.084	± 0.548 b
TA	12.391	± 0.053 c	34.141	± 0.205 e	26.108	± 0.266 c
TS	12.460	± 0.266 cd	31.879	± 0.329 d	28.408	± 0.375 f
JA	14.024	± 0.030 ef	31.667	± 0.416 d	26.863	± 0.675 cd
JK	11.994	± 0.205 c	29.643	± 0.375 c	27.821	± 0.228 ef
A	12.275	± 0.160 c	35.727	± 0.534 g	28.021	± 0.452 ef
K	13.487	± 0.244 de	36.345	± 0.110 g	23.604	± 0.702 b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Sampai pada inkubasi 56 hari, perlakuan biochar jengkok tembakau menunjukkan kation basa tertinggi pada masing-masing jenis tanah. Khususnya tanah Alfisol, kation basa tertinggi juga dari perlakuan jengkok yang dicampur kompos (Tabel 35).

Tabel 32. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	6.060	± 0.251 a	23.723	± 0.208 a	14.385	± 0.102 a
S	10.878	± 0.089 c	29.915	± 0.065 d	24.415	± 0.065 b
T	13.601	± 0.017 h	30.625	± 0.608 e	31.737	± 0.259 f
J	14.153	± 0.292 i	31.240	± 0.122 f	32.695	± 0.210 g
SA	13.025	± 0.048 fg	28.353	± 0.136 b	31.921	± 0.034 f
SK	11.552	± 0.181 de	28.723	± 0.187 b	28.994	± 0.109 c
TA	9.494	± 0.064 b	29.210	± 0.209 c	30.202	± 0.629 d
TS	11.982	± 0.177 e	32.882	± 0.083 h	30.165	± 0.009 d
JA	13.653	± 0.203 hi	29.878	± 0.904 d	30.423	± 0.566 d
JK	12.660	± 0.100 f	30.868	± 0.086 e	32.570	± 0.165 g
A	13.175	± 0.065 gh	32.123	± 0.127 g	30.586	± 0.019 d
K	11.160	± 0.099 cd	30.816	± 0.031 e	31.146	± 0.151 e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), menunjukkan bahwa kation basa terbaik pada Entisol dari perlakuan pupuk kandang ayam secara tunggal maupun yang dicampur biochar tongkol, yaitu sebesar 16,5 me 100 g⁻¹. Kation basa tertinggi pada Litosol diperoleh dari pupuk kandang ayam yang dicampur dengan ketiga jenis biochar. Khususnya biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (pupuk kandang ayam ataupun kompos) menunjukkan kation basa yang juga tertinggi. Akan tetapi pada tanah Alfisol, kation basa pada pupuk kandang ayam yang dicampur biochar jengkok terbaik pada inkubasi 98 hari (Tabel 36).

Tabel 33. Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kation Basa tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	6.045	± 0.369 a	24.613	± 0.593 a	14.386	± 0.142 a
S	15.333	± 1.078 f	30.907	± 0.486 c	22.572	± 0.725 f
T	13.823	± 0.863 e	32.168	± 0.600 ef	26.343	± 0.997 h
J	13.526	± 0.876 e	34.469	± 0.663 g	21.786	± 0.659 e
SA	11.789	± 0.973 c	34.487	± 0.238 g	24.127	± 1.730 g
SK	15.196	± 0.405 g	31.882	± 0.259 e	19.297	± 0.734 b
TA	16.919	± 0.701 h	34.552	± 1.156 g	21.049	± 0.226 d
TS	12.680	± 0.419 d	32.573	± 0.435 f	21.459	± 0.456 de
JA	11.949	± 0.394 c	34.243	± 0.405 g	27.326	± 1.141 i
JK	10.973	± 0.297 b	33.393	± 0.343 g	21.701	± 0.731 e
A	16.433	± 0.404 h	30.125	± 0.263 b	20.712	± 0.723 c
K	12.035	± 0.217 c	29.753	± 1.183 b	19.090	± 0.531 b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar kation basa cenderung tetap (Litosol). Kadar kation basa cenderung naik dan turun dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya (Alfisol). Kadar kation basa cenderung tetap sampai 56 hari sesudah itu meningkat khususnya pupuk kandang sampai 98 hari (Entisol).

10.6.Kadar Nitrogen

DeLuca *et al.* (2009) menjelaskan secara umum biochar lebih penting untuk modifikasi tanah dan transformasi hara, serta kurang berarti sebagai sumber utama unsur hara. Biochar yang berasal bahan baku dari kotoran dan produk hewan relatif kaya unsur hara ¹²³ bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Kondisi pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisika-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan unsur hara dalam biochar setiap tanaman.

Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6 % ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400 sampai 800 °C (Bagreev *et al.*, 2001). Kadar nitrogen yang ada di dalam tanah bervariasi dengan perlakuan dan jenis tanah.

Inkubasi Hari 7

Pada inkubasi 7 hari, perlakuan pupuk kandang ayam telah meningkatkan kadar N tanah Entisol 2 kali lebih tinggi dari 0,08% menjadi 0,19% sedangkan pada Litosol hampir 4 kali lebih tinggi dari 0,14% menjadi 0,51%. Kadar N dari perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang) meningkat hampir 2 kali lebih tinggi. Kandungan N dari pupuk kandang (4,05%) tertinggi selanjutnya diikuti kompos (2,6%) dan biochar jengkok (1,83%). Kenaikan kadar N tanah Entisol dan Litosol berlangsung selama 7 hari. Namun pada inkubasi yang sama belum terjadi kenaikan kadar N pada tanah Alfisol dari semua perlakuan (Tabel 38). Kenaikan kadar N tanah Alfisol terjadi pada 14 hari inkubasi dengan perlakuan kompos (Tabel 39).

Tabel 34. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 7 hari (%)						
	Entisol			Litosol		Alfisol	
Kontrol	0.079	± 0.002	a	0.136	± 0.012	a	0.103 ± 0.006 a
S	0.094	± 0.006	ab	0.148	± 0.010	a	0.101 ± 0.002 a
T	0.109	± 0.005	ab	0.215	± 0.014	ab	0.127 ± 0.012 a
J	0.113	± 0.011	ab	0.254	± 0.018	b	0.124 ± 0.003 a
SA	0.123	± 0.005	ab	0.200	± 0.011	ab	0.132 ± 0.008 a
SK	0.102	± 0.002	ab	0.199	± 0.004	ab	0.129 ± 0.010 a
TA	0.122	± 0.014	ab	0.217	± 0.008	ab	0.114 ± 0.027 a
TS	0.105	± 0.010	ab	0.194	± 0.014	ab	0.132 ± 0.002 a
JA	0.124	± 0.006	ab	0.251	± 0.016	b	0.118 ± 0.011 a
JK	0.129	± 0.003	ab	0.229	± 0.022	b	0.130 ± 0.020 a
A	0.185	± 0.011	b	0.513	± 0.298	c	0.136 ± 0.026 a
K	0.124	± 0.008	ab	0.233	± 0.011	b	0.144 ± 0.034 a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Pada inkubasi 14-28 hari, kadar N tanah Entisol dari perlakuan biochar jengkok meningkat 2 kali lebih tinggi. Pada inkubasi 14 hari, kadar N tanah Litosol pada perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur kompos hampir 2 kali lebih tinggi dari kontrol. Hal yang sama terjadi pada perlakuan biochar tongkol jagung pada Litosol dan Alfisol. Khususnya Alfisol, kadar N tertinggi dari pemberian kompos pada inkubasi 14 hari (Tabel 39). Hal ini menunjukkan kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik. Banyaknya N yang dikandung dalam biochar menentukan kemampuan tanah meningkatkan kadar N dalam tanah. Nitrogen merupakan unsur hara makro utama dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^-) yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak.

Tabel 35. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 14 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	0.073	± 0.000 a	0.118	± 0.007 a	0.093	± 0.000 a
S	0.117	± 0.021 b	0.124	± 0.006 a	0.135	± 0.000 b
T	0.115	± 0.013 b	0.224	± 0.013 d	0.206	± 0.003 d
J	0.159	± 0.030 c	0.234	± 0.000 d	0.194	± 0.016 d
SA	0.121	± 0.018 b	0.170	± 0.011 b	0.126	± 0.004 b
SK	0.092	± 0.008 ab	0.180	± 0.004 b	0.113	± 0.007 ab
TA	0.095	± 0.012 ab	0.184	± 0.012 b	0.162	± 0.023 c
TS	0.107	± 0.009 ab	0.173	± 0.010 bc	0.115	± 0.004 ab
JA	0.112	± 0.007 b	0.194	± 0.024 d	0.123	± 0.006 b
JK	0.126	± 0.022 b	0.248	± 0.047 d	0.117	± 0.005 ab
A	0.126	± 0.021 b	0.193	± 0.010 bc	0.217	± 0.005 de
K	0.101	± 0.026 ab	0.219	± 0.004 cd	0.245	± 0.029 e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Hingga 28 hari inkubasi, kadar N tanah Litosol tertinggi pada biochar jengkok yang dicampur kompos selanjutnya diikuti dengan yang dicampurkan pupuk kandang maupun biochar tongkol. Kadar N tanah Alfisol tertinggi pada perlakuan pupuk kandang yang dicampur biochar sekam maupun biochar jengkok. Hasil yang sama juga pada pemberian kompos (Tabel 40). Perlakuan campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah Litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 36. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 28 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	0.069	± 0.014 a	0.118	± 0.006 a	0.081	± 0.011 a
S	0.081	± 0.007 a	0.167	± 0.010 b	0.111	± 0.007 b
T	0.125	± 0.023 de	0.274	± 0.035 e	0.116	± 0.006 bc
J	0.140	± 0.005 e	0.241	± 0.006 d	0.112	± 0.000 b
SA	0.090	± 0.015 b	0.181	± 0.006 b	0.165	± 0.017 e
SK	0.107	± 0.010 cd	0.202	± 0.007 c	0.113	± 0.006 b
TA	0.111	± 0.000 cd	0.207	± 0.004 c	0.132	± 0.007 cd
TS	0.110	± 0.008 cd	0.207	± 0.006 c	0.140	± 0.006 cde
JA	0.115	± 0.003 cd	0.270	± 0.019 e	0.156	± 0.015 e
JK	0.115	± 0.003 cd	0.315	± 0.004 f	0.150	± 0.007 de
A	0.115	± 0.001 cd	0.190	± 0.000 c	0.125	± 0.003 bc
K	0.106	± 0.004 b	0.194	± 0.000 c	0.160	± 0.009 e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Pemberian biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik menunjukkan kadar N tanah Entisol tertinggi. Kemampuan biochar jengkok lebih lama dalam meningkatkan kadar N tanah Entisol, sejak inkubasi hari ke-14 hingga hari ke-56. Tidak demikian dengan peningkatan kadar N tanah Entisol dengan pupuk kandang ayam yang hanya terjadi pada inkubasi 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar N tanah Entisol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Namun kadar N tanah Litosol tertinggi pada pemberian pupuk kandang, selanjutnya diikuti oleh biochar jengkok maupun kompos. Kadar N tanah Alfisol tertinggi dari perlakuan kompos yang diikuti oleh perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur pupuk kandang (Tabel 41). Peningkatan kadar N tanah Alfisol lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 37. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 56 hari (%)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.069	± 0.014	a	0.118	± 0.006	a	0.081	± 0.011	a
S	0.085	± 0.005	b	0.116	± 0.005	a	0.135	± 0.005	cd
T	0.095	± 0.005	b	0.157	± 0.006	b	0.116	± 0.006	b
J	0.128	± 0.007	c	0.218	± 0.017	d	0.149	± 0.010	de
SA	0.092	± 0.007	b	0.162	± 0.007	bc	0.120	± 0.010	bc
SK	0.092	± 0.008	b	0.151	± 0.010	b	0.098	± 0.007	a
TA	0.096	± 0.005	b	0.200	± 0.010	d	0.110	± 0.009	a
TS	0.093	± 0.006	b	0.181	± 0.010	cd	0.097	± 0.006	a
JA	0.128	± 0.007	c	0.167	± 0.006	bc	0.151	± 0.012	de
JK	0.130	± 0.010	c	0.178	± 0.004	cd	0.120	± 0.009	bc
A	0.097	± 0.006	b	0.246	± 0.025	e	0.129	± 0.009	bc
K	0.090	± 0.010	b	0.209	± 0.012	d	0.168	± 0.007	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (Tabel 42), kadar N tanah tertinggi pada biochar tongkok dicampur pupuk kandang (Entisol), biochar jengkok (Litosol), dan biochar jengkok dicampur pupuk kandang (Alfisol).

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar N cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang yang melonjak turun pada 14 hari (Litosol). Kadar N meningkat pada 14 hari dan cenderung tetap sampai 98 hari (Alfisol). Kadar N cenderung tetap sampai

56 hari dan tetap ataupun meningkat pada 98 hari kecuali pupuk kandang yang melonjak turun dan biochar jengkok yang melonjak naik pada 14 hari (Entisol).

Tabel 38. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar N tanah pada inkubasi 98 hari (%)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	0.069	± 0.014 a	0.115	± 0.005 a	0.075	± 0.018 a
S	0.098	± 0.007 b	0.154	± 0.005 b	0.106	± 0.015 bc
T	0.097	± 0.006 b	0.196	± 0.005 cd	0.130	± 0.010 e
J	0.099	± 0.002 b	0.260	± 0.010 g	0.124	± 0.005 de
SA	0.096	± 0.005 b	0.179	± 0.009 c	0.140	± 0.010 e
SK	0.130	± 0.010 c	0.194	± 0.007 cd	0.101	± 0.010 bc
TA	0.150	± 0.010 d	0.203	± 0.015 de	0.116	± 0.005 cd
TS	0.096	± 0.005 b	0.190	± 0.010 cd	0.092	± 0.012 b
JA	0.097	± 0.006 b	0.227	± 0.015 f	0.160	± 0.010 f
JK	0.093	± 0.011 b	0.209	± 0.010 de	0.097	± 0.015 b
A	0.082	± 0.014 ab	0.216	± 0.015 ef	0.108	± 0.008 bc
K	0.088	± 0.011 ab	0.212	± 0.007 ef	0.116	± 0.005 cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

10.7. Kadar Phosfor

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan unsur hara, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Uji lanjut dengan DMRT kadar P disajikan pada Tabel 44-48.

Hari 7

Inkubasi hari ke-7 menunjukkan bahwa kadar P tanah meningkat dengan semua perlakuan pada ketiga jenis tanah. Pemberian pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan kadar P tanah Entisol dan Alfisol, sedangkan pada Litosol pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam. Peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (Entisol) dan 23,3 kali lipat (Alfisol). Berbeda pada Litosol, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol). Kadar P tanah meningkat dengan campuran pupuk kandang ayam dan biochar berbagai jenis (Tabel 44). Peningkatan kadar P tanah Entisol sebesar 2 kali lebih tinggi dari 25,03 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 51,38 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang) serta 1,6 kali lipat lebih tinggi dari 28,77 (biochar

tongkol) menjadi 46,09 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah Litosol sebesar 2,5 kali lebih tinggi dari 22,64 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 57,53 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang) serta 2,3 kali lebih tinggi dari 28,02 (biochar tongkol) menjadi 63,25 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah Alfisol sebesar 3,7 kali lebih tinggi dari 1,92 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 7,12 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang); 1,3 lebih tinggi dari 8,32 mg kg⁻¹ (biochar tongkol) menjadi 10,88 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang); dan 5,4 kali lebih tinggi dari 3,79 mg kg⁻¹ (biochar jengkok) menjadi 20,40 mg kg⁻¹ (biochar jengkok+pupuk kandang). Pupuk kandang ayam mengandung P sebesar 11,62% yang tertinggi dibanding perlakuan lainnya. Selanjutnya kompos mengandung P sebesar 3,87% dan biochar sekam mengandung P sebesar 0,14%. Biochar tongkol dan biochar jengkok mengandung P yang kurang lebih sama, yaitu 0,44-0,46%.

Tabel 39. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 7 hari (mg 1000 g ⁻¹)					
	Entisol			Litosol		Alfisol
Kontrol	4.514	± 0.073	a	7.992	± 0.702	a
S	25.034	± 2.281	b	22.640	± 0.749	b
T	28.769	± 1.518	b	28.017	± 6.111	bc
J	36.584	± 1.907	bc	45.788	± 2.232	de
SA	51.378	± 4.402	de	57.526	± 5.901	ef
SK	26.115	± 1.562	b	40.870	± 0.000	cd
TA	46.090	± 8.729	cd	63.249	± 7.317	f
TS	26.365	± 0.754	b	26.731	± 0.000	bc
JA	33.415	± 1.460	bc	51.871	± 6.941	de
JK	31.340	± 9.450	b	44.948	± 3.834	de
A	61.375	± 4.434	e	54.592	± 1.130	ef
K	32.188	± 2.954	b	25.047	± 2.393	b
						8.564 ± 2.168 ab

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Sampai hari ke-14, kadar P masing-masing tanah meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik (Tabel 45). Peningkatan tertinggi dengan pemberian pupuk kandang sebesar 15,5 kali lipat (Entisol); 14 kali lipat (Litosol); dan 76,6 kali lipat (Alfisol) dibanding kontrol. Campuran biochar dan pupuk kandang menghasilkan kadar P yang lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar pada Entisol dan Litosol. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada Entisol meningkat 2,4 kali (sekam); 1,4 kali (tongkol); dan 1,3 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara

tunggal. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada Litosol meningkat 2,5 kali (sekam); 1,3 kali (tongkol); dan 1,5 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Pada tanah Alfisol campuran biochar sekam dan pupuk kandang tidak lebih baik daripada biochar sekam maupun pupuk kandang yang tidak dicampur. Namun demikian campuran biochar (tongkol maupun jengkok) dan pupuk kandang masih lebih tinggi daripada hanya menggunakan biocharnya. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada Alfisol meningkat 1,7 kali (tongkol) dan 1,1 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Ketiga jenis tanah menunjukkan kadar P tertinggi pada perlakuan pupuk kandang.

Tabel 40. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 14 hari (mg 1000 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	4.514	± 0.073 a	7.992	± 0.702 a	1.604	± 0.063 a
S	24.449	± 0.231 c	29.080	± 0.110 d	15.450	± 0.563 e
T	25.503	± 0.542 c	46.590	± 0.401 f	25.594	± 0.570 h
J	30.660	± 0.303 d	35.160	± 0.470 d	21.450	± 0.489 f
SA	58.447	± 0.480 h	71.683	± 0.710 j	10.661	± 0.364 d
SK	55.050	± 0.862 g	26.260	± 0.765 c	4.633	± 0.150 c
TA	34.853	± 0.366 e	61.873	± 0.987 i	42.583	± 0.355 i
TS	21.397	± 0.532 b	23.760	± 0.800 b	3.742	± 0.025 b
JA	40.889	± 0.153 f	51.763	± 0.845 g	24.117	± 0.000 g
JK	24.743	± 0.451 c	55.250	± 0.770 h	3.031	± 0.013 b
A	69.763	± 0.225 i	111.693	± 1.900 k	122.567	± 0.531 j
K	24.058	± 0.800 c	41.580	± 0.000 e	30.349	± 0.169 h

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Perlakuan pupuk kandang ayam menghasilkan kadar P tertinggi pada Entisol dan Litosol sampai 28 hari inkubasi. Akan tetapi perlakuan campuran biochar sekam dan pupuk kandang pada tanah Alfisol menunjukkan kadar P terbaik. Secara umum kadar P dari campuran biochar dan pupuk kandang masih lebih baik daripada perlakuan biochar secara tunggal (Tabel 46).

Tabel 41. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 28 hari (mg 1000 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	4.514	± 0.073 a	7.992	± 0.702 a	1.604	± 0.063 a
S	28.993	± 0.317 e	28.993	± 0.317 e	6.161	± 0.060 c
T	33.423	± 0.561 g	33.423	± 0.561 g	7.549	± 0.021 d
J	29.113	± 0.101 ef	29.113	± 0.101 ef	9.110	± 0.017 e
SA	27.711	± 0.176 d	27.711	± 0.176 d	71.679	± 0.361 k
SK	25.675	± 0.655 c	25.675	± 0.655 c	4.464	± 0.264 b
TA	40.501	± 0.513 h	40.501	± 0.513 h	12.178	± 0.056 g
TS	24.377	± 0.556 b	24.377	± 0.556 b	9.090	± 0.042 e
JA	40.890	± 0.184 h	40.890	± 0.184 h	25.620	± 0.650 j
JK	24.737	± 0.770 bc	24.737	± 0.770 bc	16.630	± 0.222 h
A	84.165	± 0.804 i	84.165	± 0.804 i	21.700	± 0.276 i
K	30.140	± 1.253 f	30.140	± 1.253 f	12.145	± 0.018 g

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$ **Hari 56

Kadar P tanah pada inkubasi hari ke-14 tidak berbeda dengan hari ke-56, yaitu perlakuan pupuk kandang terbaik pada ketiga jenis tanah. Kadar P tanah juga lebih baik dari perlakuan campuran biochar dan pupuk kandang daripada perlakuan biochar tunggal (Tabel 47).

Tabel 42. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 56 hari (mg 1000 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	4.514	± 0.073 a	7.992	± 0.702 a	1.604	± 0.063 a
S	10.737	± 0.046 d	11.402	± 0.187 b	10.737	± 0.046 d
T	12.908	± 0.016 fg	19.149	± 0.026 f	12.908	± 0.016 e
J	13.289	± 0.022 h	25.716	± 0.107 h	13.289	± 0.022 f
SA	14.703	± 0.136 i	23.729	± 0.170 g	14.703	± 0.136 g
SK	8.684	± 0.259 c	14.969	± 0.040 d	8.684	± 0.259 c
TA	10.607	± 0.177 d	36.852	± 0.083 h	10.607	± 0.177 d
TS	13.083	± 0.006 gh	12.184	± 0.029 c	13.083	± 0.006 ef
JA	20.907	± 0.059 j	86.935	± 0.065 j	20.907	± 0.059 h
JK	6.037	± 0.055 b	17.689	± 0.106 e	6.037	± 0.055 b
A	25.878	± 0.025 k	97.141	± 0.150 k	25.878	± 0.025 i
K	11.673	± 0.025 e	52.847	± 0.061 i	11.673	± 0.025 e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$ **Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), kadar P tanah Entisol terbaik pada perlakuan biochar sekam padi, sedangkan Litosol terbaik pada perlakuan campuran biochar jengkok dan pupuk

kandang. Khususnya pupuk kandang, kadar P tanah Alfisol masih terbaik sejak 56 hingga 98 hari inkubasi (Tabel 48).

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar P cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang dan kompos yang melonjak turun kemudian naik pada inkubasi 14 hari (Litosol). Kadar P meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (Alfisol). Kadar P cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan ataupun penurunan pada 98 hari (Entisol).

Tabel 43. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar P tanah pada inkubasi 98 hari (mg 1000 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	4.514	± 0.073 a	3.805	± 0.028 a	1.604	± 0.063 a
S	76.482	± 1.351 i	11.362	± 0.052 b	5.313	± 0.170 c
T	39.626	± 0.701 g	22.363	± 0.061 e	14.653	± 0.323 g
J	15.197	± 0.876 c	41.828	± 0.037 g	7.357	± 0.160 d
SA	15.372	± 0.502 c	45.871	± 0.110 h	22.688	± 0.806 i
SK	40.027	± 1.101 g	21.736	± 0.229 de	3.200	± 0.281 b
TA	22.427	± 0.639 d	40.183	± 0.087 g	9.036	± 0.067 e
TS	25.513	± 1.600 f	15.237	± 0.253 c	12.032	± 0.075 f
JA	24.103	± 1.154 e	80.162	± 0.120 j	22.330	± 0.452 h
JK	46.607	± 0.500 h	20.537	± 0.101 d	5.587	± 0.282 c
A	13.502	± 0.610 b	67.518	± 0.063 i	28.202	± 0.948 j
K	13.495	± 0.539 b	25.579	± 0.130 f	13.043	± 0.124 f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

10.8. Kadar Kalium

Hari 7

Setiap jenis biochar mengandung kalium yang berbeda jumlahnya. Kadar K biochar sekam < biochar tongkol < biochar jengkok. Biochar memiliki kadar kalium yang lebih tinggi daripada pupuk organik. Kadar K dari pupuk kandang ayam > kompos. Inkubasi selama 7 hari telah menunjukkan perubahan kadar K dalam tanah penelitian. Pada awal penelitian ketiga jenis tanah memiliki kadar K sebesar 0,34-0,36 me/100g. Semua perlakuan meningkatkan kadar K. Perlakuan kompos menghasilkan kadar K tertinggi pada Entisol dan Alfisol, namun pada Litosol pada perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar K pada kompos paling rendah sedangkan biochar jengkok paling tinggi dibandingkan biochar maupun pupuk kandang ayam. Oleh karenanya pemberian kompos hanya menunjukkan kadar K tertinggi di awal inkubasi. Ketiga jenis

biochar mengandung kalium yang berbeda tetapi menunjukkan kadar K yang sama pada tanah Alfisol saat inkubasi 7 hari. Hal ini berbeda dengan dua jenis tanah lainnya, kadar K dalam tanah Entisol dan Litosol sebanding dengan banyaknya K dalam biochar. Selanjutnya kadar K bervariasi dengan jenis tanah dan pemberian biochar-pupuk organik.

Tabel 44. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.302	± 0.063	219	0.367	± 0.006	a	0.250	± 0.010	a
S	0.900	± 0.033	b	1.279	± 0.063	b	0.880	± 0.016	b
T	1.631	± 0.084	cd	2.204	± 0.616	cd	0.719	± 0.065	b
J	1.852	± 0.068	d	3.082	± 0.055	f	0.935	± 0.068	b
SA	1.342	± 0.052	c	1.901	± 0.134	c	0.976	± 0.006	bc
SK	0.927	± 0.137	b	1.856	± 0.127	c	1.044	± 0.129	bc
TA	1.476	± 0.167	cd	2.398	± 0.033	d	1.782	± 0.015	d
TS	1.871	± 0.459	d	2.780	± 0.166	ef	1.832	± 0.104	d
JA	1.647	± 0.136	cd	2.929	± 0.208	f	1.948	± 0.467	d
JK	1.740	± 0.135	cd	2.414	± 0.385	de	1.798	± 0.046	d
A	1.892	± 0.267	d	2.395	± 0.347	de	1.335	± 0.309	c
K	2.490	± 0.489	e	2.790	± 0.234	ef	2.483	± 0.245	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Kadar K ketiga jenis tanah meningkat dengan aplikasi biochar-pupuk organik. Biochar jengkok menunjukkan kadar K tertinggi pada Entisol mulai 14 hingga 56. Biochar tongkol yang dicampur kotoran ayam merupakan perlakuan tertinggi pada tanah Alfisol pada inkubasi 14 hari. Pada Litosol terdapat empat perlakuan yang menghasilkan kadar K yang sama, yaitu aplikasi biochar tongkol tunggal maupun yang dicampur pupuk organik, biochar jengkok yang dicampur kotoran ayam. Pada inkubasi 14 hari, pemberian campuran biochar dan pupuk organik cenderung memberikan kadar K yang lebih banyak daripada pemberian secara tunggal pada ketiga jenis tanah.

Tabel 45. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol			Litosol		Alfisol
Kontrol	0.302	± 0.063	a	0.367	± 0.006	a
S	0.730	± 0.015	d	0.928	± 0.024	c
T	0.577	± 0.014	b	1.851	± 0.046	i
J	1.859	± 0.062	j	1.250	± 0.032	f
SA	0.974	± 0.018	e	0.746	± 0.005	b
SK	0.664	± 0.004	c	1.683	± 0.007	h
TA	1.606	± 0.004	h	1.869	± 0.024	i
TS	1.120	± 0.118	f	1.856	± 0.054	i
JA	1.643	± 0.006	i	1.853	± 0.036	i
JK	1.078	± 0.043	f	1.175	± 0.010	e
A	0.989	± 0.009	e	1.466	± 0.015	g
K	1.599	± 0.017	g	1.035	± 0.013	d
						1.951 ± 0.030 i

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Pada 28 hari inkubasi, kadar K terbaik dari biochar tongkol yang tidak berbeda dengan biochar jengkok pada Entisol. Pada Litosol, perlakuan biochar tongkol juga menunjukkan kadar K tertinggi, tetapi berbeda pada tanah Alfisol. Tanah Alfisol menunjukkan kadar K tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam.

Tabel 46. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol			Litosol		Alfisol
Kontrol	0.302	± 0.063	a	0.367	± 0.006	a
S	0.828	± 0.102	c	0.931	± 0.047	b
T	1.279	± 0.233	e	2.010	± 0.010	g
J	1.264	± 0.177	e	1.463	± 0.238	ef
SA	0.663	± 0.047	b	0.958	± 0.059	b
SK	0.838	± 0.020	c	1.132	± 0.032	bc
TA	1.061	± 0.030	d	1.494	± 0.096	ef
TS	0.925	± 0.085	cd	1.336	± 0.108	de
JA	1.060	± 0.034	d	1.251	± 0.028	cd
JK	1.050	± 0.030	d	1.673	± 0.055	f
A	1.065	± 0.035	d	1.215	± 0.016	cd
K	1.123	± 0.010	de	1.114	± 0.006	bc
						1.241 ± 0.033 fg

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Seperti inkubasi sebelumnya, biochar jengkok menghasilkan kadar K tertinggi. Kadar K tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dicampur pupuk kandang ayam (Litosol) serta pupuk kandang ayam (Alfisol).

Tabel 47. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	0.302	± 0.063 a	0.367	± 0.006 a	0.250	± 0.010 a
S	0.769	± 0.036 b	0.910	± 0.011 b	0.635	± 0.015 c
T	1.328	± 0.010 i	1.487	± 0.021 g	0.757	± 0.004 d
J	1.540	± 0.053 j	1.672	± 0.012 i	0.984	± 0.014 h
SA	0.975	± 0.031 c	0.968	± 0.040 b	0.655	± 0.031 c
SK	1.035	± 0.022 d	0.955	± 0.022 b	0.544	± 0.041 b
TA	1.161	± 0.036 e	1.759	± 0.011 j	0.915	± 0.015 f
TS	1.076	± 0.026 d	1.159	± 0.036 d	0.774	± 0.015 e
JA	1.288	± 0.024 h	1.370	± 0.045 f	0.954	± 0.025 g
JK	1.177	± 0.024 f	1.083	± 0.031 c	0.913	± 0.012 f
A	1.022	± 0.070 d	1.585	± 0.017 h	1.075	± 0.023 i
K	1.225	± 0.071 g	1.290	± 0.018 e	0.954	± 0.012 g

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir pengamatan (98 hari), aplikasi biochar dan pupuk organik masih meningkatkan kadar K dalam tanah. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K tertinggi pada Entisol dan Litosol. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K terbanyak pada tanah Alfisol. Secara umum kadar K memiliki kecenderungan menurun dari awal hingga akhir pengamatan.

Tabel 48. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar K tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.302	± 0.063	b	0.018	± 0.007	a	0.251	± 0.037	a
S	0.915	± 0.063	f	0.183	± 0.006	b	0.433	± 0.021	b
T	0.984	± 0.014	f	1.309	± 0.027	g	0.770	± 0.053	d
J	0.880	± 0.030	e	1.346	± 0.035	h	0.846	± 0.057	e
SA	0.794	± 0.031	d	0.966	± 0.051	d	0.618	± 0.025	c
SK	1.153	± 0.045	g	1.049	± 0.053	ef	0.439	± 0.052	b
TA	1.223	± 0.070	h	1.463	± 0.042	i	0.629	± 0.055	c
TS	0.936	± 0.077	f	1.099	± 0.074	ef	0.754	± 0.025	d
JA	1.001	± 0.008	f	1.151	± 0.086	f	1.031	± 0.065	f
JK	0.822	± 0.043	e	1.020	± 0.010	de	0.641	± 0.056	c
A	0.254	± 0.060	a	0.727	± 0.071	c	0.733	± 0.050	d
K	0.608	± 0.085	c	1.185	± 0.125	f	0.707	± 0.080	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

10.9. Kadar Calsium

Kadar abu dari biochar sekam > biochar jengkok > biochar tongkol. Kadar abu dari biochar termasuk konstituen anorganik (kalsium, magnesium dan karbon anorganik) setelah semua unsur organik (karbon, hidrogen dan nitrogen) diuapkan (Joseph *et al.*, 2009). Sumber bahan baku dan kondisi pirolisis telah terbukti mempengaruhi kadar abu anorganik dari biochar, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi akhir potensi penggunaan (Kookana *et al.*, 2011).

Hari 7

Inkubasi 7 hari telah menunjukkan bahwa pemberian biochar dan pupuk organik menaikkan kadar Ca pada tanah Entisol dan Litosol. Semua perlakuan menunjukkan kenaikan kadar Ca yang sama pada tanah Entisol, sebesar 78% dari 5,14% menjadi 9,14%. Kenaikan kadar Ca pada Litosol dan Alfisol bervariasi tidak seperti pada Entisol saat 7 hari inkubasi. Aplikasi kompos meningkatkan kadar Ca tertinggi pada Litosol. Pada tanah Alfisol, kenaikan kadar Ca yang sama dari perlakuan biochar sekam maupun jengkok yang dikombinasi pupuk organik, biochar tongkol yang dicampur kompos, serta pupuk kandang ayam. Pemberian kompos pada tanah Alfisol belum meningkatkan kadar Ca pada inkubasi 7 hari.

Tabel 49. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	5.140	± 0.165	a	22.367	± 0.115	a	12.236	± 0.191	a
S	9.451	± 0.001	b	26.519	± 1.354	116	14.098	± 1.312	ab
T	8.885	± 0.473	b	27.560	± 1.202	bc	14.154	± 3.593	ab
J	8.311	± 0.229	b	29.040	± 0.036	cd	15.830	± 1.584	bc
SA	8.379	± 1.731	b	28.843	± 1.730	bc	16.790	± 1.235	c
SK	9.523	± 0.969	b	26.067	± 0.291	b	16.735	± 0.631	c
TA	9.047	± 1.372	b	24.620	± 2.996	ab	13.895	± 0.946	ab
TS	10.020	± 2.209	b	23.803	± 0.452	ab	17.348	± 2.490	c
JA	8.539	± 1.103	b	29.617	± 1.605	cd	15.606	± 0.693	c
JK	10.335	± 0.612	b	30.935	± 0.909	cd	16.312	± 1.025	c
A	9.614	± 0.000	b	29.090	± 0.658	cd	15.171	± 3.047	c
K	8.386	± 0.153	b	31.987	± 2.354	d	12.538	± 1.913	a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Setelah 14 hari inkubasi, biochar dan pupuk organik menunjukkan variasi kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca di ketiga jenis tanah. Kenaikan kadar Ca sebesar 111% (Entisol); 34% (Litosol); dan 55% (Alfisol) pada 14 hari inkubasi. Kadar Ca dari Litosol (25,83 me/100g) > Alfisol (12,44 me/100 g) > Entisol (5,14 me/100g). Peningkatan kadar Ca tertinggi dari aplikasi biochar jengkok pada tanah dengan kadar Ca yang terendah. Meskipun kenaikan tertinggi pada Entisol dari perlakuan pupuk kandang ayam (131%) dan pada tanah Litosol dari perlakuan kombinasi biochar jengkok dan kompos (48%). Aplikasi kombinasi biochar sekam dan pupuk organik menunjukkan kadar Ca yang lebih tinggi daripada hanya menambahkan biochar sekam pada ketiga jenis tanah. Hal ini karena pupuk organik (pupuk kandang ayam dan kompos) memiliki kadar Ca yang lebih tinggi daripada biochar sekam.

Tabel 50. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	5.140	± 0.165	a	22.767	± 0.153	s	13.464	± 0.027	a
S	8.506	± 0.300	c	23.700	± 0.100	b	15.313	± 0.199	c
T	9.865	± 0.200	de	26.867	± 0.651	d	14.873	± 0.695	b
J	10.828	± 0.148	f	30.467	± 0.651	g	20.913	± 0.160	h
SA	9.547	± 0.105	de	27.567	± 0.058	e	17.254	± 0.547	e
SK	10.043	± 0.252	ef	24.537	± 0.557	c	18.507	± 0.460	f
TA	7.511	± 0.230	b	26.533	± 0.448	d	16.234	± 0.051	d
TS	9.700	± 0.031	d	28.717	± 0.289	f	14.644	± 0.551	b
JA	9.438	± 0.115	d	30.000	± 0.265	g	14.451	± 0.493	b
JK	10.679	± 0.372	ef	33.687	± 0.824	h	18.232	± 0.122	f
A	11.880	± 0.151	g	29.073	± 0.239	f	19.131	± 0.069	g
K	9.369	± 0.241	d	27.797	± 0.150	e	18.799	± 0.188	f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Pada inkubasi 28 hari, kadar Ca tertinggi pada Entisol diperoleh dari perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar Ca tertinggi pada Litosol dari perlakuan pupuk kandang ayam kemudian diikuti campuran biochar jengkok dan pupuk kandang ayam serta kompos. Kadar Ca tertinggi pada tanah Alfisol dari perlakuan biochar tongkol dan kompos.

Tabel 51. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	5.140	± 0.165	a	22.833	± 0.306	a	13.493	± 0.050	a
S	8.704	± 0.191	ef	26.430	± 0.185	d	22.767	± 0.306	ef
T	7.612	± 0.290	cd	26.867	± 0.136	d	22.800	± 0.300	f
J	10.230	± 0.010	g	29.537	± 0.609	f	22.923	± 0.194	f
SA	6.823	± 0.045	b	28.457	± 0.260	e	19.900	± 0.346	c
SK	8.210	± 0.066	de	23.333	± 0.153	b	19.633	± 0.961	c
TA	8.262	± 0.060	de	30.420	± 0.079	f	22.133	± 0.681	e
TS	8.513	± 0.084	ef	28.480	± 0.200	e	24.223	± 0.561	g
JA	10.507	± 0.095	g	31.667	± 0.416	g	21.000	± 0.624	d
JK	7.646	± 0.222	cd	24.477	± 0.473	c	22.833	± 0.252	f
A	8.924	± 0.079	f	32.612	± 0.586	h	19.600	± 0.624	c
K	7.467	± 0.306	c	31.147	± 0.060	g	18.863	± 0.679	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Sampai inkubasi 56 hari, semua perlakuan masih meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Biochar jengkok memberikan kenaikan kadar Ca tertinggi pada Entisol dan Alfisol. Khususnya tanah Alfisol, kadar Ca dari perlakuan biochar jengkok tidak berbeda dengan perlakuan biochar tongkol. Tidak demikian pada Litosol, kadar Ca tertinggi dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam.

Tabel 52. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	5.140	± 0.165 a	22.733	± 0.208 b	13.493	± 0.050 a
S	8.053	± 0.051 d	23.700	± 0.100 c	26.100	± 0.100 ef
T	9.447	± 0.055 ef	19.177	± 0.174 a	28.200	± 0.265 g
J	9.723	± 0.176 f	27.433	± 0.116 f	28.100	± 0.200 g
SA	7.677	± 0.080 cd	24.673	± 0.140 d	18.479	± 0.028 b
SK	7.923	± 0.081 cd	24.870	± 0.139 d	19.700	± 0.100 c
TA	5.380	± 0.040 a	24.730	± 0.204 d	24.933	± 0.635 d
TS	7.543	± 0.208 c	28.723	± 0.049 h	26.321	± 0.022 f
JA	9.330	± 0.164 e	29.533	± 0.058 i	25.878	± 0.554 e
JK	7.180	± 0.056 b	26.710	± 0.061 e	24.870	± 0.161 d
A	9.247	± 0.067 e	28.317	± 0.090 g	26.403	± 0.025 f
K	7.063	± 0.047 b	27.170	± 0.044 f	26.533	± 0.154 f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Inkubasi 98 hari, kadar Ca tertinggi pada Entisol dari perlakuan pupuk kandang ayam. Pemberian biochar jengkok, campuran biochar sekam dan pupuk kandang, serta campuran biochar jengkok dan kompos memberikan kadar Ca yang sama pada Litosol. Kadar Ca tertinggi pada tanah Alfisol dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang.

Tabel 53. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar Ca tanah pada inkubasi 98 hari (me 100 g ⁻¹)					
	Entisol			Litosol		Alfisol
Kontrol	5.100	± 0.400	a	22.333	± 0.503	13.493 ± 0.050 b
S	9.056	± 1.272	b	29.473	± 0.444	18.788 ± 0.619 e
T	10.967	± 0.907	d	29.403	± 0.613	19.093 ± 1.053 e
J	10.272	± 0.842	cd	31.267	± 0.666	16.469 ± 0.667 d
SA	10.092	± 0.901	cd	31.060	± 0.131	16.524 ± 1.515 d
SK	12.944	± 0.404	e	28.970	± 0.130	12.445 ± 0.599 a
TA	12.526	± 0.613	e	30.970	± 0.966	14.414 ± 0.632 c
TS	9.284	± 0.377	bc	29.817	± 0.511	15.541 ± 0.707 cd
JA	8.875	± 0.238	bc	30.620	± 0.338	23.389 ± 1.354 f
JK	8.287	± 0.401	b	31.133	± 0.321	16.512 ± 0.571 d
A	16.470	± 0.894	f	28.000	± 0.964	16.604 ± 0.433 d
K	8.312	± 0.376	b	26.150	± 1.143	15.961 ± 0.404 d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar Ca cenderung tetap (Litosol), meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (Alfisol), dan cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan sampai 98 hari (Entisol).

10.10. Kadar Magnesium

Tanah yang digunakan pada penelitian ini mengandung magnesium (Mg) yang berbeda. Sebelum perlakuan diberikan (awal penelitian), kadar Mg pada tanah Alfisol > Litosol > Entisol. Kadar Mg dalam biochar jengkok > biochar tongkol > biochar sekam. Sedangkan kadar Mg dari kompos > pupuk kandang ayam. Unsur Ca dan Mg biasa dikaitkan dengan kemasaman tanah. Kemasaman tanah sebelum penelitian (pH H₂O) dari Litosol, Entisol, dan Alfisol masing-masing sebesar 6,4; 5,7; dan 5,3. Setelah aplikasi biochar dan pupuk organik terjadi perubahan nilai pH mulai 7 – 98 hari. Pada 7 hari inkubasi, pH tanah meningkat berkisar 6,2 – 6,4 (Entisol); 6,8 – 7,2 (Litosol); dan 6,0 – 6,4 (Alfisol).

Magnesium merupakan unsur yang terlibat pada reaksi enzimatik dan unsur pembentuk klorofil. Magnesium penting untuk banyak fungsi tanaman, seperti fotosintesis (Mg adalah elemen sentral klorofil), aktivasi enzim, sintesis gula, kontrol serapan hara, dan banyak lainnya.

Hari 7

Pemberian biochar dan pupuk organik meningkatkan kadar Mg di ketiga jenis tanah pada inkubasi 7 hari. Perlakuan biochar tongkol dan pupuk kandang ayam memberikan kadar Mg tertinggi pada ketiga jenis tanah. Khususnya tanah Alfisol perlakuan terbaik juga dari aplikasi biochar tongkol yang dicampur kompos.

Tabel 54. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.584	± 0.340	a	0.210	± 0.020	a	0.274	± 0.030	a
S	2.697	± 0.944	b	3.393	± 0.593	e	4.020	± 0.348	cd
T	2.814	± 0.144	b	1.593	± 0.323	bcd	4.313	± 0.557	cde
J	4.678	± 0.400	cd	1.037	± 0.197	ab	6.978	± 0.638	f
SA	4.403	± 0.434	cd	1.293	± 0.051	abc	3.287	± 0.403	cd
SK	2.756	± 0.491	b	1.570	± 0.266	bcd	5.122	± 0.314	d
TA	5.103	± 0.562	d	5.176	± 0.586	f	8.500	± 1.690	g
TS	4.281	± 0.860	cd	3.222	± 0.663	e	8.424	± 2.384	g
JA	4.204	± 1.158	cd	2.443	± 0.499	cde	7.048	± 0.875	f
JK	2.914	± 0.837	b	1.360	± 0.460	abc	3.014	± 0.632	c
A	2.477	± 0.161	cd	2.653	± 0.238	de	2.644	± 1.588	b
K	3.231	± 0.225	bc	0.685	± 0.249	ab	5.570	± 0.976	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah.

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Kadar Mg pada inkubasi hari ke-14 menunjukkan bahwa setiap perlakuan memberikan kadar Mg yang berbeda pada ketiga jenis tanah. Perlakuan terbaik pada Entisol diperoleh dari aplikasi biochar jengkok yang tidak berbeda dengan pemberian kompos. Perlakuan terbaik pada Litosol diperoleh dari aplikasi biochar tongkol yang tidak berbeda dengan aplikasi biochar sekam yang dicampur kompos. Perlakuan terbaik pada Alfisol diperoleh dari aplikasi biochar sekam yang dicampur pupuk kandang. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 63.

Tabel 55. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 14 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.340	± 0.017	a	0.210	± 0.020	a	0.274	± 0.030	a
S	0.745	± 0.056	b	2.252	± 0.043	e	6.177	± 0.272	d
T	1.316	± 0.179	c	3.029	± 0.024	f	5.667	± 0.551	c
J	2.321	± 0.079	d	0.834	± 0.200	b	6.367	± 0.379	de
SA	0.338	± 0.065	a	1.081	± 0.027	bc	8.433	± 0.709	g
SK	0.790	± 0.200	b	3.399	± 0.349	f	2.023	± 0.006	b
TA	1.450	± 0.128	c	1.822	± 0.169	d	7.733	± 0.404	f
TS	0.156	± 0.000	a	0.727	± 0.038	b	7.633	± 0.252	f
JA	0.293	± 0.030	a	1.870	± 0.032	d	6.600	± 0.173	e
JK	1.078	± 0.068	bc	1.437	± 0.108	c	6.433	± 0.252	de
A	0.877	± 0.033	b	0.805	± 0.020	b	6.333	± 0.115	de
K	2.120	± 0.102	d	1.424	± 0.096	c	6.667	± 0.379	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$ **Hari 28

Sampai inkubasi hari ke-28, pemberian biochar dan pupuk organik memberikan peningkatan kadar Ca yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Perlakuan kompos merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg pada Entisol dan Litosol. Khususnya Litosol, perlakuan kompos tidak berbeda dengan perlakuan biochar sekam yang dicampur kompos. Sedangkan pada tanah Alfisol, perlakuan pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 64.

Tabel 56. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 28 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.340	± 0.017	a	0.210	± 0.020	a	0.274	± 0.030	a
S	0.569	± 0.079	ab	0.603	± 0.065	b	3.177	± 0.022	f
T	2.616	± 0.195	e	1.200	± 0.012	c	1.719	± 0.040	cd
J	1.257	± 0.025	c	1.611	± 0.081	d	0.910	± 0.103	b
SA	1.586	± 0.055	cd	0.667	± 0.065	b	4.306	± 0.105	g
SK	0.858	± 0.105	b	2.627	± 0.081	e	1.533	± 0.666	cd
TA	1.484	± 0.030	cd	0.824	± 0.073	bc	1.433	± 0.306	c
TS	1.337	± 0.126	c	0.600	± 0.020	b	1.400	± 0.265	c
JA	0.832	± 0.073	b	0.822	± 0.058	bc	3.214	± 0.099	f
JK	1.642	± 0.035	d	1.903	± 0.011	d	2.538	± 0.154	e
A	0.612	± 0.084	ab	0.703	± 0.031	b	5.533	± 1.021	h
K	3.214	± 0.090	f	2.665	± 0.048	e	1.856	± 0.027	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Pada inkubasi ke-56 hari menunjukkan perbedaan kadar Mg pada setiap jenis tanah dengan aplikasi biochar dan pupuk organik. Kadar Mg tertinggi pada Entisol dan Alfisol dari perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang sedangkan pada Litosol dari perlakuan biochar jenkok yang dicampur kompos. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 65.

Tabel 57. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 56 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.274	± 0.030	a	0.210	± 0.020	a	0.274	± 0.030	a
S	0.257	± 0.012	a	0.498	± 0.016	c	0.945	± 0.005	b
T	0.768	± 0.042	c	0.320	± 0.010	b	1.363	± 0.015	d
J	0.827	± 0.040	d	0.437	± 0.006	c	1.154	± 0.005	c
SA	2.059	± 0.038	i	0.640	± 0.010	d	11.060	± 0.036	j
SK	0.309	± 0.009	a	0.837	± 0.068	ef	7.204	± 0.090	h
TA	0.907	± 0.021	e	0.808	± 0.022	e	1.836	± 0.041	f
TS	0.720	± 0.026	c	0.789	± 0.020	e	1.623	± 0.020	e
JA	0.643	± 0.021	b	0.907	± 0.015	g	2.491	± 0.010	g
JK	1.899	± 0.050	h	0.980	± 0.010	h	5.296	± 0.005	i
A	1.233	± 0.042	g	0.881	± 0.016	fg	0.907	± 0.015	b
K	1.067	± 0.031	f	0.696	± 0.041	d	1.374	± 0.015	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Di akhir pengamatan (98 hari), kadar Mg tertinggi pada Entisol dari perlakuan biochar sekam dan pada tanah Alfisol dari perlakuan biochar sekam yang dicampur dengan pupuk kandang. Kadar Mg tertinggi pada Litosol dari perlakuan pupuk kandang yang dicampur dengan biochar sekam maupun biochar jengkok dan juga pemberian kompos.

Tabel 58. Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Kadar Mg tanah pada inkubasi 98 hari (mg 100 g ⁻¹)					
	Entisol		Litosol		Alfisol	
Kontrol	0.299	± 0.012 a	0.347	± 0.025 ab	0.274	± 0.030 a
S	3.736	± 0.210 e	0.200	± 0.010 a	2.067	± 0.055 d
T	0.149	± 0.017 a	0.330	± 0.010 ab	4.995	± 0.014 i
J	0.633	± 0.075 b	0.957	± 0.038 de	3.089	± 0.029 f
SA	0.239	± 0.113 a	1.331	± 0.053 f	5.359	± 0.145 j
SK	0.307	± 0.088 ab	0.753	± 0.085 cd	4.906	± 0.105 i
TA	1.437	± 0.055 d	1.093	± 0.179 e	4.554	± 0.397 h
TS	1.522	± 0.109 d	0.373	± 0.012 ab	3.504	± 0.352 g
JA	0.305	± 0.100 a	1.430	± 0.056 f	1.131	± 0.138 c
JK	1.067	± 0.050 c	0.127	± 0.021 a	2.878	± 0.158 e
A	0.100	± 0.010 a	0.552	± 0.069 bc	2.068	± 0.224 d
K	1.468	± 0.048 d	1.553	± 0.049 f	1.073	± 0.032 b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

**Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Secara umum kadar Mg memiliki kecenderungan meningkat pada awal inkubasi (7 hari), selanjutnya kadar Mg bisa meningkat atau menurun hingga akhir pengamatan.

XI. Pengaruh Jenis Biochar Dan Pupuk Organik Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Jagung di Tanah Litosol, Alfisol, dan Entisol

11.1. Tinggi Tanaman

Pengaruh perlakuan pada tinggi tanaman disajikan pada Tabel 59. Secara umum, perlakuan biochar dan pupuk organik meningkatkan tinggi tanaman pada ketiga jenis tanah. Aplikasi biochar kombinasi pupuk organik menunjukkan tinggi tanaman yang lebih baik daripada penerapan secara tunggal. Tinggi tanaman ditingkatkan secara signifikan dengan perlakuan TA yang tidak berbeda nyata dengan JA pada Alfisol dan Litosol. Biochar dan pupuk organik berisi beberapa unsur hara tanaman penting (Tabel 59) yang mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman. Hasil penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian inkubasi tentang karakterisasi jenis biochar dan pupuk organik pada sifat fisik beberapa jenis tanah (Widowati *et al.*, 2017). Perbaikan sifat fisik tanah liat lebih baik menggunakan kombinasi jenis biochar dengan pupuk organik. Lebih lanjut dilaporkan bahwa kombinasi biochar tongkol dengan pukan pada Litosol meningkatkan porositas dan pori makro, masing-masing sebesar 14% dan 21-24%. Kombinasi biochar jengkok dan kompos meningkatkan porositas dan pori makro pada Alfisol, berturut-turut sebesar 21% dan 64% disamping itu juga pori mikro menurun 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1%. Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso Litosol sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada Alfisol. Pori mikro berkurang 12% dari perlakuan kombinasi pukan dengan biochar sekam maupun dengan biochar tongkol, dan kombinasi biochar jengkok dengan kompos pada Litosol. Berbeda pada tanah liat, aplikasi pukan (A) menghasilkan tinggi tanaman terbaik pada Entisol. Sebagaimana yang dilaporkan Widowati *et al.* (2017), pori makro menurun 21% hanya dengan pukan pada Entisol.

Asai *et al.* (2009) menyatakan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori, dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan unsur hara lebih baik. Peningkatan porositas tanah meningkatkan luas permukaan tanah sehingga air lebih baik menembus ke dalam tanah. Luas permukaan dan porositas biochar berpotensi signifikan pada kapasitas mengikat air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara (Sohi *et al.*, 2010). Penambahan biochar juga secara signifikan meningkatkan kandungan air

yang tersedia dalam tanah dengan meningkatkan jumlah air dipertahankan dalam tanah (kapasitas air lapangan) dan memungkinkan tanaman untuk menarik kadar air tanah dan menurunkan sebelum layu (Koide *et al.*, 2015).

Tabel 59. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap tinggi tanaman pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

Jenis Pupuk	Pengaruh biochar dan pupuk organik pada tinggi tanaman								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	0.671	± 0.031	a	0.720	± 0.020	a	0.671	± 0.031	a
T	0.926	± 0.018	b	0.830	± 0.109	a	0.926	± 0.018	bc
S	0.884	± 0.089	b	0.840	± 0.113	a	0.884	± 0.089	b
J	0.959	± 0.108	bc	1.004	± 0.076	b	0.959	± 0.108	bcd
K	1.109	± 0.113	de	0.979	± 0.096	b	1.109	± 0.113	efg
A	1.149	± 0.022	ef	1.216	± 0.031	d	1.149	± 0.022	fg
TK	1.006	± 0.119	bcd	1.091	± 0.027	bcd	1.006	± 0.119	bcd
TA	1.286	± 0.033	g	1.074	± 0.018	bc	1.286	± 0.033	h
SK	1.057	± 0.055	cde	1.019	± 0.013	bc	1.057	± 0.055	cdef
SA	1.087	± 0.076	cde	1.151	± 0.046	cd	1.087	± 0.076	def
JK	1.124	± 0.039	def	0.983	± 0.170	b	1.124	± 0.039	efg
JA	1.247	± 0.052	fg	1.144	± 0.090	cd	1.247	± 0.052	gh

11.2. Biomasa Tanaman

Biomasa tanaman merupakan hasil bersih fotosintesis yang ditunjukkan sebagai bahan kering dari organ-organ tanaman pada suatu tanaman dalam suatu saat tertentu. Total berat kering tanaman di atas tanah dipanen sesaat tanaman muncul bunga betina sebagai tanda bahwa tanaman memasuki fase pertumbuhan vegetatif maksimal pada tanaman jagung. Biomasa kering tanaman meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik pada ketiga jenis tanah, yaitu 1,7 t ha⁻¹ menjadi 2,2 – 3,9 t ha⁻¹ (Alfisol); 1,8 t ha⁻¹ menjadi 2,8 – 4,7 t ha⁻¹ (Entisol); dan 0,7 t ha⁻¹ menjadi 2,2 – 5,1 t ha⁻¹ (Litosol). Sebagian besar penggunaan biochar dan pupuk organik menunjukkan peningkatan biomasa yang relatif sama pada Alfisol dan Entisol. Biomasa tanaman ditingkatkan secara signifikan pada perlakuan JA (Litosol) yang tidak berbeda nyata dengan perlakuan A (Entisol). Penerapan biochar jengkok kombinasi pukan menunjukkan biomasa tertinggi dibandingkan aplikasi secara tunggal pada Litosol, yaitu 5,1 t ha⁻¹ (JA); 2,9 t ha⁻¹ (J); dan 4,5 t ha⁻¹ (A). Produksi biomasa tanaman rendah ketika hanya menerapkan biochar jengkok tetapi meningkat 76% ketika dikombinasi dengan pukan. Pupuk kandang telah memberi kontribusi hara (khususnya N dan P) yang diperlukan untuk peningkatan produksi biomassa pada Litosol. Biochar jengkok memiliki kadar N, K, dan Ca yang lebih tinggi dari biochar lainnya

(Tabel 60). Produksi biomasa meningkat dari penerapan pukan yang dikombinasi biochar jengkok. Hal ini menjelaskan bahwa kombinasi biochar jengkok dan pukan saling sinergi untuk meningkatkan produksi biomasa tanaman jagung di Litosol. Efek positif penggunaan bersama biochar jengkok dan pukan menyebabkan produksi biomasa lebih besar daripada penggunaan secara tunggal pada Litosol. Ardakani *et al.* (2017) melaporkan juga bahwa biochar memiliki efek sinergis bila diterapkan dalam kombinasi dengan pupuk mineral atau berbagai jenis kompos. Pengaruh perlakuan terhadap biomasa tanaman pada Litosol berbeda pada Alfisol maupun Entisol. Produksi biomasa relatif sama dari penerapan ketiga jenis biochar yang diberikan secara tunggal maupun kombinasi dengan pupuk organik pada Entisol dan Alfisol (Tabel 60).

Tabel 60. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap berat kering biomasa tanaman pada Alfisol, Entisol dan Litosol

Jenis Pupuk	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap berat kering biomassa tanaman					
	Entisol			Litosol		Alfisol
Kontrol	1.672	± 0.229	a	1.802	± 0.491	a
T	3.530	± 0.211	ab	3.711	± 0.521	b
S	2.970	± 0.262	ab	2.796	± 0.238	ab
J	2.675	± 0.463	ab	4.102	± 2.016	b
K	3.739	± 0.852	b	3.375	± 2.738	ab
A	3.315	± 0.485	ab	4.746	± 0.798	b
TK	2.416	± 0.121	ab	4.222	± 0.981	b
TA	3.666	± 0.980	b	4.119	± 1.027	b
SK	3.876	± 1.496	b	3.910	± 0.904	b
SA	3.697	± 0.894	b	4.649	± 0.737	b
JK	2.489	± 0.525	ab	3.782	± 1.034	b
JA	2.168	± 0.903	ab	3.822	± 0.813	b
						5.092 ± 1.138 e

11.3. Analisis Pertumbuhan Tanaman

11.3.1. Indeks Luas Daun (ILD)

Luas daun menyatakan besarnya luas permukaan organ-organ tanaman yang melakukan fotosintesis atau organ yang mengandung klorofil. ILD merupakan perbandingan luas daun total dengan luas tanah yang ditutupi atau luas daun di atas suatu luasan tanah. Pemberian biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah meningkatkan ILD pada saat pertumbuhan vegetatif maksimum, yaitu 0,9 menjadi 1,1 - 1,9 (Alfisol); 1,2 menjadi 1,5 - 2,1 (Entisol); dan 0,5 menjadi 1,1 - 2,3 (Litosol). ILD tertinggi dari perlakuan SK tidak berbeda nyata dengan perlakuan TA pada Alfisol sedangkan perlakuan JA tertinggi

pada Entisol dan Litosol (Gambar 4). Hal ini berarti bahwa daun di atas 1 m² permukaan tanah terdapat seluas 1,9 m² (Alfisol); 2,1 m² (Entisol); dan 2,3 m² (Litosol). Harga ILD > 1 menggambarkan adanya saling menaungi diantara daun yang mengakibatkan daun yang ternaungi pada lapisan bawah tajuk mendapat cahaya yang kurang dan karenanya dapat mempunyai laju fotosintesis yang lebih rendah.

Nampaknya harga ILD sejalan dengan tinggi tanaman dan produksi biomasa pada Alfisol, Litosol maupun Entisol. Biomasa tanaman berasal dari serapan unsur hara dan air yang digunakan untuk membentuk bahan tanaman saat proses fotosintesis. Penyediaan nitrogen memberi pengaruh terhadap ILD dan karenanya berpengaruh terhadap tinggi tanaman dan produksi biomasa tanaman (Tabel 61).

Tabel 61. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Indeks Luas Daun pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

Jenis Pupuk	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Indeks Luas Daun						
	Entisol			Litosol			Alfisol
Kontrol	0.902 ± 0.302	a		1.160 ± 0.319	a		0.522 ± 0.344 a
T	1.588 ± 0.193	bcde		1.530 ± 0.281	abc		1.066 ± 0.210 b
S	1.299 ± 0.152	abcd		1.643 ± 0.204	abc		1.227 ± 0.331 bc
J	1.178 ± 0.193	abc		1.721 ± 0.172	abc		1.616 ± 0.281 c
K	1.746 ± 0.185	cde		1.488 ± 0.581	ab		1.395 ± 0.510 b
A	1.742 ± 0.270	cde		1.934 ± 0.516	bc		1.776 ± 0.266 cde
TK	1.482 ± 0.159	bcde		1.726 ± 0.244	abc		1.641 ± 0.478 c
TA	1.865 ± 0.191	de		2.014 ± 0.170	bc		1.757 ± 0.234 cde
SK	1.960 ± 0.197	e		1.771 ± 0.087	bc		1.891 ± 0.565 de
SA	1.804 ± 0.254	de		1.721 ± 0.067	abc		1.804 ± 0.591 de
JK	1.149 ± 0.198	ab		1.813 ± 0.226	bc		1.779 ± 0.235 cde
JA	1.566 ± 0.175	bcde		2.096 ± 0.054	c		2.262 ± 0.351 e

11.3.2. LuasDaun Spesifik

Luas daun spesifik menggambarkan tebal tipisnya helai daun sebagai akibat pembagian karbohidrat ke bagian daun. Luas daun spesifik tanaman jagung cenderung sama pada semua perlakuan, yaitu masing-masing 95 - 142 cm² g⁻¹ (Alfisol); 89 - 159 cm² g⁻¹ (Entisol); dan 70 - 195 cm² g⁻¹ (Litosol). Kecuali perlakuan biochar sekam dikombinasi pupuk kandang (SA) pada Alfisol; biochar sekam dikombinasi kompos (SK) pada Entisol; dan biochar tongkol dikombinasi pupuk (TA) pada Litosol menunjukkan luas daun spesifik tertinggi, masing-masing 187 cm² g⁻¹ (Alfisol); 171 cm² g⁻¹ (Entisol); dan 224 cm² g⁻¹ (Litosol) (Tabel 62). Luas daun spesifik ditingkatkan secara signifikan dengan penerapan biochar kombinasi pupuk organik pada ketiga jenis tanah. Luas daun spesifik tertinggi dari

perlakuan kombinasi dibanding perlakuan tunggal pada ketiga jenis tanah, yaitu 187 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (SA); 107 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (S); dan 124 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (A) pada Alfisol; 171 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (SK); 102 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (S); dan 89 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (K) pada Entisol; dan 224 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (TA); 129 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (T); dan 124 $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ (A) pada Litosol. Hal ini berarti pembentukan luas daun per satuan bahan kering yang dialokasikan ke daun adalah tinggi pada pertumbuhan vegetatif maksimum. Keadaan demikian disebabkan oleh penyediaan karbohidrat untuk pertumbuhan daun lebih rendah dari laju penggunaannya untuk pembentukan luas daun. Pembesaran dan pembelahan sel berlangsung giat pada pertumbuhan vegetatif maksimum pada tanaman jagung.

Tabel 62. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Luas Daun Spesifik pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

Jenis Pupuk	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Luas Daun Spesifik								
	Entisol			Litosol			Alfisol		
Kontrol	141.930	± 21.758	ab	129.336	± 26.606	abc	118.672	± 31.700	ab
T	131.000	± 14.395	ab	122.558	± 58.402	abc	128.578	± 69.220	ab
S	106.722	± 13.683	a	102.257	± 29.685	ab	70.418	± 20.313	a
J	107.370	± 28.661	a	104.375	± 22.539	ab	126.261	± 42.676	ab
K	120.232	± 27.616	a	89.482	± 30.664	a	90.984	± 41.244	a
A	124.247	± 17.779	a	134.168	± 29.799	abc	124.010	± 29.500	ab
TK	95.346	± 30.131	a	105.669	± 16.437	ab	101.662	± 40.061	ab
TA	118.208	± 4.346	a	159.448	± 54.928	bc	224.143	± 72.750	d
SK	131.919	± 16.180	ab	170.734	± 41.769	c	195.593	± 16.462	cd
SA	187.287	± 19.558	b	104.918	± 26.631	ab	158.985	± 34.541	bc
JK	110.573	± 9.013	a	128.590	± 8.564	abc	105.025	± 13.404	ab
JA	136.339	± 10.715	ab	127.766	± 20.330	abc	124.670	± 11.098	ab

11.4. Hasil Jagung Pipilan

Penggunaan biochar dan pupuk organik meningkatkan hasil jagung dibanding kontrol, yaitu 3,2 menjadi 5,0 – 8,4 t ha^{-1} (Alfisol); 3,4 menjadi 6 - 8,0 t ha^{-1} (Entisol); dan 4,3 menjadi 7,8 – 10,5 t ha^{-1} (Litosol). Hasil jagung terbaik pada Alfisol dan Litosol dari jenis biochar dan pupuk organik yang berbeda, yaitu masing-masing biochar tongkol dikombinasi pukan (Alfisol) dan biochar sekam dikombinasi pukan (Litosol). Hasil jagung pada perlakuan TA tidak berbeda nyata dengan A, masing-masing 8,4 t ha^{-1} dan 7,8 t ha^{-1} pada Alfisol. Kadar N, P, K tanah ditingkatkan dengan penerapan biochar tongkol dan pupuk kandang pada Alfisol (Tabel 63). Sementara itu hasil jagung dari perlakuan T sebesar 5,8 t ha^{-1} . Nampaknya hasil jagung tinggi dari perlakuan TA maupun A tidak konsisten dengan perlakuan SA dan JA yang mempunyai kadar N, P, K tinggi pada Alfisol. Hasil jagung ditingkatkan 7,7% (dibanding perlakuan A) dan 44,8% (dibanding perlakuan T) pada

Alfisol. Penggunaan bersama biochar tongkol dan pupuk kandang memberi kontribusi yang lebih baik terhadap pertumbuhan dan hasil jagung pada Alfisol. Masing-masing bahan organik saling sinergi untuk memberi manfaat bagi pertumbuhan dan hasil tanaman. Ouyang *et al.* (2014) menemukan bahwa aplikasi biochar meningkatkan aktivitas enzim tanah karena biochar meningkatkan unsur hara yang tersedia dalam tanah dan meningkatkan C organik terlarut dan aktivitas mikroba. Menurut Phares *et al.* (2017), aplikasi biochar tunggal atau biochar dikombinasi dengan pupuk kandang unggas meningkatkan P tersedia, KTK, dan jumlah karbon organik.

Meskipun kedua jenis tanah (Alfisol dan Litosol) bertekstur liat, namun menunjukkan tanggapan yang berbeda terhadap pertumbuhan dan hasil. Jumlah karbon organik dari kedua jenis tanah liat berbeda nampaknya yang mempengaruhi hasil jagung terbaik. Jumlah karbon organik dari Litosol dua kali lebih tinggi dari Alfisol, yaitu masing-masing 1,36% dan 0,72%. Tanaman menanggapi perubahan biochar tergantung pada sifat kimia dan fisik dari biochar, kondisi iklim, kondisi tanah dan jenis tanaman (Zwieten *et al.*, 2010; Gaskin *et al.*, 2010; Haefele *et al.*, 2011). Pada Litosol, hasil jagung terbaik dari perlakuan SA (10,5 t ha⁻¹) tidak berbeda nyata dengan perlakuan A, TA, JA dengan rata-rata sebesar 9,8 t ha⁻¹. Pupuk kandang memiliki kadar N dan P yang lebih tinggi dibanding kompos (Tabel 2) sehingga memberi kontribusi hara N dan P yang lebih baik untuk meningkatkan pertumbuhan dan hasil jagung. Menurut Situmeang (2017), dosis biochar 10,52 t ha⁻¹ dikombinasikan dengan kompos dan phonska memberikan hasil kering biji jagung tertinggi 13,71 t ha⁻¹, yang meningkat sebesar 106,67% bila dibandingkan dengan perlakuan tanpa biochar, kompos, dan phonska dengan nilai Efektivitas Agronomi Relatif (RAE) tertinggi (113,99%) yang sangat efektif untuk budidaya jagung di lahan kering.

Aplikasi jenis biochar dan pupuk organik dapat meningkatkan hasil biji jagung pada lempung berpasir (Entisol). Hasil penelitian menunjukkan jenis biochar dan pupuk organik menunjukkan hasil jagung yang cenderung sama pada Entisol (Tabel 63). Hal ini menunjukkan bahwa jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan pada tanah berpasir memberikan tanggapan yang sama terhadap hasil jagung. Entisol memiliki kadar karbon organik paling rendah dan persentase pasir paling tinggi dibanding jenis tanah lainnya. Widowati *et al.* (2017) melaporkan bahwa penggunaan biochar dan pupuk organik pada tanah lempung berpasir dapat meningkatkan pori meso 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4%. Hasil penelitian ini sejalan dengan penerapan biochar pada tanah lempung berpasir di Lombok Utara, disampaikan bahwa aplikasi biochar berkontribusi terhadap pembenahan

sifat fisika-kimia tanah, retensi hara dan air tanah, KTK sehingga hasil jagung menunjukkan respon positif (Sukartono *et al.*, 2012).

Tabel 63. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap hasil jagung pipilan pada Alfisol, Entisol, dan Litosol

Jenis Pupuk	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap hasil jagung pipilan		
	Entisol	Litosol	Alfisol
Kontrol	3.237 ± 0.724 a	3.360 ± 0.543 a	4.256 ± 0.848 a
T	5.797 ± 0.602 bc	6.320 ± 1.065 b	7.829 ± 0.556 b
S	5.771 ± 0.648 bc	7.003 ± 2.479 b	9.125 ± 0.578 bc
J	5.003 ± 0.736 ab	6.512 ± 1.446 b	7.904 ± 1.991 b
K	7.083 ± 1.072 bcd	6.747 ± 1.177 b	8.939 ± 1.080 bc
A	7.811 ± 1.134 cd	7.977 ± 2.185 b	10.048 ± 0.477 bc
TK	7.259 ± 0.980 bcd	6.784 ± 1.904 b	8.080 ± 1.164 b
TA	8.437 ± 0.809 d	6.864 ± 0.988 b	9.792 ± 1.153 bc
SK	6.139 ± 1.515 bcd	6.688 ± 1.428 b	9.125 ± 1.644 bc
SA	5.403 ± 1.518 bc	8.032 ± 0.697 b	10.597 ± 0.360 c
JK	6.608 ± 1.105 bcd	5.952 ± 1.571 b	7.984 ± 1.113 b
JA	6.336 ± 0.519 bcd	7.925 ± 1.395 b	9.659 ± 0.738 bc

DAFTAR PUSTAKA

- 1
Abdurakman, A.I. Juarsah, & U. Kurnia. (2000). Pengaruh Berbagai Jenis dan Takaran Pupuk Kandang Terhadap Produktivitas Tanah Ultisol Terdegradasi di Desa Batin, Jambi. *Hlm 303-319 dalam Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Tanah, Iklim dan Pupuk. Buku II*. Bogor, 6-8 Desember. 1999. Puslittanak.
- 10
Ammu, P. & Anitha, S. (2015). Production and Characterisation of Biochar From Different Organic Materials. *Journal of Tropical Agriculture*, 53(2), pp.191-196.
- 143
Amonette, J.E. & Joseph, S. (2009). Characteristics of biochar: microchemical properties. Chapter 3. In: *Lehmann J, Joseph S (eds) Biochar for environmental management science and technology*. Earthscan, London, p33-52.
- 110
Antal, M. J., & M. Gronli. (2003). Theart, science, and technology of charcoal production. *Ind. Eng. Chem. Res.* 42: 1619-1640.
- Ardakani, M. R. & M. Sharifi. (2017). Worm Castings-Based Growing Media with Biochar and Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Producing Organic Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in Greenhouse. *Iranian Journal of Plant Physiology*, 7(3), 2083-2093.
- 38
Asai, H., Samson, B. K., Stephan, H. M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T & Horie, T. (2009). Biochar Amandement Techniques For upland Rice Production In Northern Laos. *Soil Physical Properties, Leaf SPAD and grain yield. Field Crops Research*, 111, pp.81-84.
- Atkinson, C. J., J. D. Fitzgerald, & N. A. Hips. (2010). Potential mechanisms for chieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*, 337, 1-18.
- 6
Bagreev, A, Bandosz, TJ & Locke, D. C. (2001). Porestructure and surface chemistry of adsorbents obtained by pyrolysis of sewage sludge-derived fertilizer. *Carbon*, 39:1971-79.
- 21
Baldock, J. A. & Smernik, R. J. (2002). Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry*, 33:1093-1109.
- Baronti, S., Vaccari, F. P., Miglietta, F., Calzolari, C. Lugato, E., Orlandini, S., Pini, R., Zulian, C., & Genesio, L. (2014). Impact of biochar application on plant water relations in *Vitis vinifera* L. *Europ. J. Agron*, 53:38-44.

- 13 Bélanger, N. I., Côté, B., Fyles, J.W., Chourchesne, F. & Hendershot, W. H. (2004). Forest regrowth as the controlling factor of soil nutrient availability 75 years after fire in deciduous forest of southern Quebec. *Plant and Soil*, 262: 363–372.
- Berglund, L. M., Deluca, T.H. & Zackrisson, T. H. (2004). Activated carbon amendments of soil alters nitrification rates in Scots pine forest. *Soil*.
- 136 Biederman, L. A., Harpole, W. T. (2013). Biochar and its effect on plant productivity and nutrient cycling : a meta-analysis. *GCB Bioenergy*, 5: 202- 214.
- 94 Bird, M. I. (1999). Stability of elemental carbon in a savanna soil, *Global Bio geochem. Cycles*, 13, 923–932.
- Boateng, A. A. (2007). Characterization and thermal conversion of char coal derived from fluidized bed fast pyrolysis oil production of switchgrass. *Industrial Engineering and Chemical Research*, 46: 8857–62.
- 101 Borchard, N., Prost, K., Kautz, T., Moeller, A., & Siemens, J. (2012). Sorption of copper (II) and sulphate to different biochars before and after composting with farmyard manure. *European Journal of Soil Science*, 63, 399-409.
- 21 Bornemann, L. C., Kookana, R. S. & Welp, G. (2007). Differential sorption behaviour of aromatic hydrocarbons on charcoals prepared at different temperatures from grass and wood. *Chemosphere*, 67: 1033–1042.
- 127 Bourke, J., Manley-Harris, M., & Fushimi C. (2007). Do all carbonized charcoal have the same chemical structure? 2. A model of the chemical structure of carbonized charcoal. *Ind Eng Chem, Res* 46 (18): 5954-5967.
- 13 Brady, N. C., & Weill, R. R. (2004). Elements of the Nature and Properties of Soils 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River NJ, pp. 111-112.
- Brady, N. C. & Weil, R. R. (2008). The Nature and Properties of Soils, 14th edition, Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ
- 19 Department of the Interior, Geological Survey. Washington, DC.
- 26 Brewer, C. E., Schmidt-Rohr, K., Satrio, J. A., & Brown, R. C. (2009). Characterization of biochar from fast pyrolysis and gasification systems. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, 28(3), 386–396.
- 69 Bridgwater A., Boocock, D. G. B. (2006). Science in Thermal and Chemical Biomass Conversion. CPL Press, Newbury.
- Bridle, T. R. & Pritchard D. (2004). Energy and nutrient recovery from sewage sludge via pyrolysis. *Water Science and Technology*, 50:169-175.
- 88 Bruun, E. W., Ambus, P., Egsgaard, H., & Haugaard-Nielsen, H. (2012). Effects of slow and

- fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 73-79.
- 49 Bruun, E. W., Petersen, C. T., Hansen, E., Holm, J. K., & Hauggaard-Nielsen, H. (2014). Biochar Amendment to Coarse Sandy Sub soil Improves Root Growth and Increases Water Retention. *Soil Use Manag.* 30, 109–118.
- 11 Bruun, E.W., Ambus, P., Egsgaard, H., & Haugaard-Nielsen, H., (2012). Effects of slow and fast pyrolysis biochar on soil C and N turnover dynamics. *Soil Biology and Biochemistry* 46, 73-79.
- 68 Cao, X. D. & Harris, W. (2010). Properties of dairy-manure-derived biochar pertinent to its potential use in remediation. *Bioresource Technology*, 101 (14): 5222–28.
- Chan, K. Y. & Xu, Z. (2009). Biochar : nutrient properties and their enhancement, in Lehmann, J. & Joseph, S., *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, United Kingdom: 67–84.
- 1 Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. & Joseph, S. (2007). Assessing the Agronomic Values of Contrasting Char Materials on Australian Hardsetting Soil. *Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative, 30 April – 2 May 2007*. Terrigal, NSW, Australia.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A. & Joseph, S. (2007). Agronomic values of green waste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research* 45: 629–34.
- 10 Chan, K. Y., Van Zweiten, L., Meszaros, I., Downie, A. & Joseph, S. (2007). Assessing the agronomic values of contrasting char materials on Australian hardsetting soil. *Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative*. Australia, Terrigal NSW.
- 20 Chan, K. Y., Van Zwieten, B. L., Meszaros, I., Downie, D. & Joseph, S. (2008). Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research*, 46: 437- 444.
- Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust J Soil Res* 45: 629–634.
- Cheng, C. H., Lehmann, J. & Engelhard, M. H. (2008). Natural Oxidation of Black Carbon in Soils: Changes in Molecular Form and Surface Charge Along a Climosequence. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 72: 1598-1610.
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D. & Engelhard, M. H. (2006). Oxidation of black carbon through biotic and a biotic processes. *Organic Geochemistry* 37:

1477–1488.

25 De Luca, T. H., Mac Kenzie, M. D. & Gundale, M. J. (2009). Biochar effects on soil nutrient transformations, in Lehmann, J. & Joseph, S., *Biochar for environmental management: science and technology*, Earthscan, United Kingdom: 251–270.

Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jatim. (2013).

8 Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., & Zeng, G. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agron Sustain. Dev.* 36: 2-18.

31 Ding, Y., Yu-Xue, L., Wei-Xiang, W., De-Zhi, S., Min, Y. & Zhe-Ke, Z. (2010). Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. *Water Air Soil Pollut.* <http://dx.doi.org/10.1007/s11270-010-0366-4>.

10 Downie, A., Crosky, A. & Munroe, P. (2009). Physical properties of biochar. In *Biochar for environmental management science and technology* Eds. Lehmann, J. and Joseph, S. Earthscan, London. Sterling VA, pp. 13-32.

8 Downie, A., Munro, P., & Grosky, A. (2009). Characterization of biochar-physical and structural properties. In: Lehmann & Joseph (eds). 2009. *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, p. 13-29.

Dugan, E., Verhoef, A., Robinson, S., & Sohi, S. (2010). Biochar from Sawdust, Maize Stover and Charcoal: Impact on Water Holding Capacities (WHC) of Three Soils from Ghana. *19 th World Congress of Soil Science, Symposium*, pp. 9–12.

10 Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S. & Lehmann, J. (2012). Characterization of Biochars to Evaluate Recalcitrance and Agronomic Performance. *Journal of Bioresour Technology*, 114, pp. 644-653.

140 FAO/UNEP. (2008). Land Degradation Assessment in Drylands Local Assessment (LADAL) manual. *LADA, FAO*, Rome.

10 FCO [Fertilizer Control Order]. (1985). Fertilizer Association of India. New Delhi, p. 202.

21 Gaskin, J. W., Speir, R. A., Harris, K., Das, K. C., Lee, R. D. & Morris, L. A. (2010). Effect of peanut hull and pine chip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agron J*, 102: 623–633.

Gaskin, J. W., Steiner, C., Harris, K., Das, K. C. & Bibens, B. (2008). Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *T A sabe*, 51: 2061–2069

104 Ghosal, P. K. T., Chakraborty, B., Bhattacharya, D.K., & Bagchi. (2003). Relative Agronomic Effectiveness of phosphate rocks and P adsorption characteristics of an Oxic Rhodustalf in Eastern India. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 166 (6): 750-755.

- ¹¹ Glaser, B., Haumaier, L., Guggenberger, G. & Zech, W. (2001a). The Terra Pretaphenomenon - a model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften*, **88**: 37-41.
- Glaser, B., Lehmann, J. & Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. *Biology and Fertility of Soils* **35**: 219-230.
- ⁴ Glaser, B., Johannes, L., & Wolfgang, Z. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal-a review. *Biol Fertil Soils*, **35**: 219–230. DOI10.1007/s00374-002-0466-4. *Global Biogeochem. Cycles*, **14**: 777-794.
- ¹³ Goldberg, E. D. (1985). Black carbon in the environment: properties and distribution. Wiley, New York.
- Gundale, M. J. & DeLuca, T. H. (2006). Temperature and source material influence ecological attributes of Ponderosa pine and Douglas-fir charcoal. *Forest Ecology Management*, **231**: 86-93.
- Gundale, M. J. & DeLuca, T. H. (2007). Charcoal effects on soil solution chemistry and growth of *Koeleria macrantha* in the ponderosa pine/Douglas-fir ecosystem. *Biol Fertil Soils*, **43**:303–311.
- ¹⁵⁰ Hadi, A. G., Zainal, A. M., Bibiana, W. L., Surjono, H. S. & Gustan, P. (2006). Pembuatan Arang dari Sampah Organik dengan Cara Karbonisasi Menggunakan Reactor Pirolisis. *Jurnal Purifikasi*, **7** (2) : 139-144.
- ⁸⁷ Haefele, M. S., Konboon, Y., Wongboon, W., Amarante, S., Maarifat, A. A., & Pfeiffer, M. E. (2011). Effects and fate of biochar from rice residues in rice-based systems. *Field Crops Res.* doi: 10.1016/j.fcr.2011.01014.
- ⁹³ Hale, S.E., Alling, V., Martinsen, V., Mulder, J., Breedveld, G. D., & Cornelissen, G., (2013). The sorption and desorption of phosphate-P, ammonium-N and nitrate-N in cacao shell and corn cob biochars. *Chemosphere*, **91**, 1612-1619.
- ⁶ Hammes, K. & Schmidt, W. I. (2009). Changes of biochar in soil, in Lehmann, J. & Joseph, S., Biochar for environmental management: science and technology. *Earthscan*. United Kingdom: 169–82.
- ³⁹ Hanafiah, K. A. (2005). Dasar-dasar Ilmu Tanah. *Raja Grafindo Persada*. Jakarta. 360 hal.
- ⁴⁴ Hardjowigeno. (2007).
- Haryono. (2013). Lahan Rawa: Lumbung Pangan Masa Depan Indonesia. *IAARD Press*, Jakarta. 141 hlm.

- 48 Hass, A., Gonzalez, J. M., Lima, I. M., Godwin, H.W., Halvorson, J. J., & Boyer, D. G. (2012). Chicken manure biochar as liming and nutrient source for acid Appalachian soil. *J Environ Qual*, 41: 1096–1106
- 115 Hunt, J., DuPont, M., Sato, D. & Kawabata, A. (2010). The basics of biochar: a natural soil admendment. University of Hawaii at Manoa, *Soil and Crop Management*, 12.
- 79 Iswaran, V., Jauhri, K. S & Sen, A. (1980). Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea. *Journal of Soil Biol Biochemistry*, 12, pp. 191-192.
- 86 Jones, D. L., Edward-Jones, G. & Murphy, D. V. (2011a). Biochar mediated alterations in herbicide breakdown and leaching in soil. *Soil biology and Biochemistry*, 43:804–13.
- 6 Joseph, S., Peacocke, C., Lehmann, J. & Munroe, P. (2009). Developing a biochar classification and test methods, in Lehmann, J. & Joseph, S., *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan, United Kingdom: 107-26.
- 25 Kammann, C. I., Linsel, S., Gößling, J. W., & Koyro, H. W. (2011). Influence of biochar on drought tolerance of *Chenopodium quinoa* Willd and on soil - plant relations. *Plant Soil*, 345: 195-210.
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., & Regina, K. (2011). Biochar Addition to Agricultural Soil Increased CH₄ Uptake and Water Holding Capacity-Results from A Short-term Pilot Field study. *Agric Ecosyst Environ*, 140: 309–313.
- 188 <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>.
- 65 Keeney, D. R. & Nelson, D. W. (1982). Nitrogen - inorganic Forms. In *Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and Microbiological Properties*. Eds. A. L. Page, R. H. Miller and D. R. Keeney. p. 643-698. *American Society of Agronomy Inc and Soil Science Society of America Inc.*, Madison, Wisconsin, USA.
- 47 Keiluweit, M., Nico, P. S., Johnson, M. G. & Kleber, M. (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*, 44, pp. 1247–1253.
- 79 Khishimoto, S. & Sigiura, G. (1985). Char coal as a soil conditioner, Symposium on Forest Products Research International-Achievements and the Future. Pretoria, Republic of South Africa.
- 4 Kimetu, J., Lehmann, J., Ngoze, S. O., Mugendi, D. N., Kinyangi, J. M., Riha, S., Verchot, L., Recha, J. W., & Pell, A. N. (2008). Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, 11:726–739

- Kishimoto, S., & Sugiura, G. (1985). Charcoal as a soil conditioner. *Int Achieve Future*, 5 :12-23.
- 108 Koide, R. T., Nguyen, B. T., Skinner, R. H., Dell, C. J., Peoples, M. S., Adler, P. R., & Drohan, P. J. (2015). Biochar Amendment of Soil Improves Resilience to Climate Change. *GCB Bioenergy*, 7: 1084–1091, doi:10.1111/gcbb.12191.
- 54 Kookana, R. S. (2010). The role of biochar in modifying the environmental fate, bioavailability, and efficacy of pesticides in soils: a review. *Australian Journal of Soil Research*, 48:627–37.
- Kookana, R. S., Sarmah, A. K., Van Zwieten, L., Krull, E. & Singh, B. (2011). Biochar application to soil: agronomic and environmental benefit sand unintended consequences. *Advances in Agronomy*, 112:103–43.
- 2 Koutcheiko, S., Monreal, C. M. & Kodama, H. *et. al.* (2007). Preparation and characterization of activated carbon derived from the thermochemical conversion of chicken manure. *Bioresour Technol*, 98 (13): 2459-2464.
- 6 Krull, E., Singh, B. & Joseph, S. (2010). Preface to specialissue: proceedings from the First Asia-Pacific Biochar Conference, 2009, Gold Coast, Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 48 (6–7):i–iv.
- 11 Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. & Karlen, D. (2010). Biochar impact on nutrient leaching from a Midwestern agricultural soil. *Geoderma*, 158: 436–442.
- Laird, D. A. (2008). The Charcoal Vision: A Win Win Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. *Journal of Agronomy*, 100, pp. 178-181.
- 91 Lang, T., Jensen, A. D. & Jensen, P. A. (2005), Retention of organic elements during solid fuel pyrolysis with emphasis on the peculiar behavior of nitrogen. *Energy and Fuels*, 19:1631–43.
- 128 Lehmann, J., Da Silva, J.P. Jr, Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249: 343–357.
- 71 Lehmann, J., Matthias, C., Rillig, Janice, T., Caroline, A., Masiello, William, C. H. & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota a review. *Journal of Soil Biology & Biochemistry*, 43, pp. 1812-1836.
- 27 Lehmann, J. & Joseph, S. (2009). Biochar for environmental management: an introduction, in Lehmann, J. & Joseph, S. Biochar for environmental management: science and

- technology. *Earthscan*. United Kingdom: 1-12.
- Lehmann, J. & Joseph, S. (2015). Biochar for Environmental Management: An Introduction. In: *Biochar for Environmental Management-Science and Technology*, 2nd edition. J. Lehmann and S. Joseph (eds.). Routledge.
- Lehmann, J., Gaunt, J. & Rondon, M. (2006). Biochar sequestration in terrestrial ecosystems: a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11:403–27.
- Lehmann, J., & Rondon, M. (2005). Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* (ed N Uphoff). Boca Raton, CRC Press.
- Lehmann, J., Da Silva, J.P. J., Rondon, M., Cravo, M. S., Greenwood, J., Nehls, T., Steiner, C. & Glaser, B. (2002). Slash and char a feasible alternative for soil fertility management in the central Amazon. *17th World Congress of Soil Science*. Bangkok. Paper No. 449.
- Lehmann, J., Liang, B., Solomon, D., Lerotic, M., Luizão, F., Kinyangi, F., Schäfer, T., Wirrick, S. & Jacobsen, C. (2005). Near edge X-ray absorption fine structure (NEXAFS) spectroscopy for mapping nano-scale distribution of organic carbon forms in soil: Application to black carbon particles, *Global Biogeochemical Cycles*, vol 19, pGB 1013.
- Lehmann, J., Matthias, C., Rillig, Janice, T., Caroline, A., Masiello, William, C. H. & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota a review. *Journal of Soil Biology & Biochemistry*, 43, pp. 1812-1836.
- Lehmann, J. (2009). Terra preta Nova—where to from here?, in W. I. Woods, W. G. Teixeira, J. Lehmann, C. Steiner and A. Winkler Prins (eds) *Terra preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek*, Springer, Berlin, p 473–486.
- Lehmann, J. & Rondon, M. (2006). Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff N (Ed). *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Raton, FL: CRC Press.
- Lehmann, J., Da Silva, J. P., Jr., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249, 343–357.
- Liang, B., Lehmann, J., Kinyangi, D., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizao, F. J. Peterson, J., & Neves, E. G. (2006). Black carbon increases cation

- exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America*, 70: 1719–1730. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj2005.0383>.
- 133 Lima, I. M. & Marshall, W. E. (2005). Granular activated carbons from broiler manure: physical, chemical and adsorptive properties. *Biores. Techno*, 96:pp.699-706.
- 42 Liu, X. H., Han, F. P. & Zhang, X. C. (2012). Effect of biochar on soil aggregates in the loess plateau: results from incubation experiments. *International Journal of Agriculture and Biology*, 14, 975–979.
- 11 Liu, X., Zhang, A., Ji, C., Joseph, S., Bian, R., Li, L., Pan, G. & Paz-Ferreiro, J. (2013). Biochars Effect on Crop Productivity and The Dependence on Experimental Conditions-A Meta-Analysis of Literature Data. *Plant Soil*, 373: 583–594.
- 48 Lua, A.C., Yang, T., & Guo, J. (2004). Effects of pyrolysis conditions on the properties of activated carbons prepared from pistachio-nut shells. *J. Anal. Appl. Pyrolysis* 72 (2): 279–287. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaap.2004.08.001>
- 6 Macias, F. & Arbestain, M. C. (2010). Soil carbon sequestration in a changing global environment. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15: 511-29.
- 114 Major, J. (2009). Biochar application to a Colombian savanna Oxisol: fate and effect on soil fertility, crop production and soil hydrology. *PhD Thesis*. Cornell University, New York.
- 33 Martinsen, V., Mulder, J., Shitumbanuma, V., Sparrevik, M., Borresen, T., & Cornelissen, G. (2014). Farmerled Maize Biochar Trials: Effect on Crop Yield and Soil Nutrients Under Conservation Farming. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 177, 681–695.
- 22 Masulili, A., Utomo, W. H. & Syekhfani. (2010). Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil I. The characteristics of rice husk biochar and its Influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science Canada*, 3: 25-33.
- 4 Mayor, J., M. Rondon, D. Molina, Susan, J. R., & J. Lehmann. (2010). Maize yield and nutrition during 4 years after biochar application to a Colombian savanna oxisol. *Plant Soil*, (2010), 333:117–128. DOI 10.1007/s11104-010-0327-0.
- 119 Piccolo, A., Pietramellara, G., & Mbagwu, J. S. C. (1997). Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*, 75:267-277.
- 8 Mia, S., van Groenigen, J. W., van de Voorde, T. F. J., Orama, N. J., Bezemer, T.M., Mommer, L., & Jeffery, S. (2014). Biochar application rate affects biological nitrogen fixation in red clover conditional on potassium availability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 191: 83–91.

- Mulyani, A. & Sarwani, M. (2013). Karakteristik dan Potensi Lahan Suboptimal Untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 2: 47-56.
- Mutscher, H. (1995). Measurement and assessment of soil potassium. IPI Res. *Topics No. 4*. Int. Potash Inst.
- Naeem, M. A., M. Khalid, M. Arshad & A. Rashid. (2014). Yield and nutrient composition of biochar produced from different feed stock satvarying pyrolytic temperatures. *Pak. J. Agri Sci*, 51(1): 75-82.
- Navia, R. & Crowley, D. E. (2010). Closing the loop on organic waste management: biochar for agricultural land application and climate change mitigation. *Waste Management and Research*, 28 (6): 479–80.
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W. & Niandou, M. A. S. (2007). Impact of Biochar Amandement on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. *Soil Science*, 174: 105-112.
- Nguyen, T. H., Brown, R. A. & Ball, W. P. (2004). An evaluation of thermal resistance as a measure of black carbon content in diesel soot, wood char, and sediment. *Organic Geochemistry*, 35: 217–234.
- Novak, J. M., Busscher, W., Laird, J., Ahmedna, D. L. & Watts, M. (2009). Impact of biochar amendementon fertility of a Southeastern coastal plain soil. *Soil Sci*, 174: pp.105-112.
- Nurida, N. L., Rachman, A. & Sutono. (2012). Potensi Pembenah Tanah Biochar dalam Pemulihan Sifat Tanah Terdegradasi dan Peningkatan Hasil Jagung pada typic kanhapludults Lampung. *Buana Sains*, 12 (1) : 69-74.
- Nurida, N. L. (2006). Peningkatan Ultisol Jasinga Terdegradasi dengan pengolahan tanah dan pemberian bahan organik. *Disertasi Sekolah Pascasarjana*, IPB.
- Nurida, N. L., Sutono, Dariah, A., dan Racman, A. (2009). Efikasi formula pembenah tanah biochar dalam berbagai bentuk serbuk dalam meningkatkan kualitas lahan kering masam terdegradasi.
- Obia, A., Mulder, J., Martinsen, V., Cornelissen, G. & Borresen, T. (2016). In Situ Effects of Biochar on Aggregation, Water Retention and Porosity in Light-textured Tropical Soils. *Soil Tillage Res*, 155: 35–44.
- Ogawa, M. (1994). Tropical agriculture using charcoal. *Farming Japan*, 28: 21–35.
- Ogawa, M., Okimori, Y. & Takahashi, F. (2006). Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11: 429-444.

- Oguntunde, P. G., Matthias, F., Ayodele, E. A. & van de Giesen, N. (2004). Effects of charcoal production on maize yield, chemical properties and texture of soil. *Biology and Fertility of Soils*, 39: 295-299.
- Oguntunde, P. G., Abiodun, B. J., Ajayi, A. E. & VanDeGiesen, N. (2008). Effects Of Charcoal production On Soil Physical Properties In Ghana. *Journal Of Plant Nutrient And Soil Science*, 171, pp. 591-596.
- Ouyang, L., Tang, Q., Yu, L. & Zhang, R. (2014). Effects of Amendment of Different Biochars on Soil Enzyme Activities Related to Carbon Mineralisation. *Soil Research*, 52: 706-716.
- Pan, G. X., Zhou, P., Li, Z. P., Smith, P., Li, L.Q., Qiu, D. S, Zhang, X. H., Xu, X. B., Shen, S. Y. & Chen, X. M. (2009). Combined inorganic or organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. *Journal of Agriculture Ecosystem Environmental*, 131, pp. 274-280.
- Peng, X., Ye, L. L., Wang, C. H., Zhou, H., & Sun, B. (2011). Temperature and Duration Dependent Rice Straw-derived Biochar: Characteristics and Its Effects on Soil Properties of An Ultisol Southern China. *Soil Till Res*, 112,159-166.
- Phares, C. A., Osei, B. A., & Tagoe, S. (2017). Effects of Biochar and Poultry Manure on the Composition of Phosphorus Solubilizing Fungi and Soil Available Phosphorus Concentration in an Oxisol. *Journal of Agriculture and Ecology Research International*, 12(2): 1-15,2017; Article no. JAERI. 34526.
- Piccolo, A. & Mbagwu, J. S. C. (1990). Effects of different organic waste amendments on soil microaggregates stability and molecular sizes of humic substances. *Plant Soil*, 123: 27-37
- Piccolo, A., Pietramellara, G., & Mbagwu, J. S. C. (1996). Effects of coal-derived humic substances on water retention and structural stability of Mediterranean soils. *Soil Use Manage*, 12: 209-213.
- Pietikainen, J., Kiikkila, O. & Fritze, H. (2000). Charcoal as a habitat for microbes and its effect on the microbial community of the underlying humus. *OIKOS*, 89: 231-42.
- Preston, C. M., & Schmidt, M. W. I. (2006). Black (pyrogenic) carbon: a synthesis of current knowledge and uncertainties with special consideration of boreal regions. *Biogeosciences*, 3: 397-420.
- Purakayastha, T. J., Pathak, H. & Savita, K. (2013). Effect of Feedstock on Characteristics of Biochar and Its Impact on Carbon Sequestration in Soil. In: *Proceedings of*

National Seminar on Current Environmental Challenges and Possible Solutions,
15-16 February 2013, University of Delhi, pp.74-75.

227 Purevsuren B, Avida B, & Gerelmaa, T. (2004). The characterization of tar from the pyrolysis
of animal bones. *Fuel*, 83: 799-805.

1 Puziy, A. M., Poddubnaya, A. M., Alonso, Garcia, F. S. & Tascon, J. M. D. (2003). Synthetic
Carbons Activated With Phosphoric Acid III Carbon Prepared in Air. *Carbon*, 41:
1181-1191.

107 Qayyum, M. F., Steffens, D., Reisenauer, H. P., & Schubert, S. (2012). Kinetics of carbon
mineralization of biochars compared with wheat straw in three soils. *J. Environ.*
Qual, 41(4): 1210-1220. <http://dx.doi.org/10.2134/jeq2011.0058>.

86 Raveendran, K., Ganesh, A., & Khilart, K. C. (1995). Influence of mineral matter on biomass
pyrolysis characteristics. *Fuel*, 74: 1812-1822.

6 Rondon, M., Ramirez, J. A. & Lehmann, J. (2005). Greenhouse gasemissions decrease with
charcoal additions to tropical soils. In: *Proceedings of the Third USDA*
Symposiumon Greenhouse Gases and Carbon Sequestration. Baltimore, Soil Carbon
Centre, Kansas State University, United States Department of Agriculture.

Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramirez, J. & Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation
by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology*
and Fertility of Soils, 43, 699-708. <http://dx.doi.org/10.1007/s00374-006-0152-z>

19 Rondon, M., Ramirez, A. & Hurtado, M. (2004). Charcoal additions to high fertility ditches
enhance yields and quality of cash crops in Andean hillsides of Columbia. *CIAT*
Annual Report Cali. Colombia

45 Santi, L. P. & Goenadi, D. H. (2012). Pemanfaatan biochar asal cangkang kelapa sawit
sebagai bahan pembawa mikroba pemantap agregat. *Buana Sains*, 12 (1) : 7-13.

72 Satari, G., Sadjad, S & Sastrosoedardjo. (1977). Pendayagunaan tanah kering untuk budidaya
tanaman pangan menjawab tantangan tahun 2000. *Kongres agronomi, perhimpunan*
agronomi Indonesia. Jakarta

63 Schmidt, M. W. I. & Noack, A. G. (2000). Black carbon in soils and sediments: analysis,
distribution, implications and current challenges. *Glob Biogeochem Cycles*, 14: 777-
793.

19 Schnitzer, M. I., Monreal, C. M, Jandl, G. & Leinweber, P. (2007). The conversion of
chicken manure tobio-oilby fast pyrolysis II. Analysis of chicken manure, bio oils,
and char by curie-point pyrolysis-gas chromatography/massspectrometry (CpPy-
GC/MS). *J Environ Sciand Health*, B42: 79-95.

- 33 Sharpley, A. N., Smith, S. J., & Bain, W. R. (1993). Nitrogen and phosphorus fate from long-term poultry manure application to Oklahoma soils. *Soil Science Society. Am. J.*, 57: 1131-1137.
- 41 Shinogi, Y. (2004). Nutrient leaching from carbon products of sludge. *ASAE/CSAE Annual International Meeting, Paper number 044063*. Ottawa.Ontario.Canada
- Situmeang, Y. P. (2017). Agronomic Effectiveness of Bamboo Biochar on Corn Cultivation in Dryland. *J. Biol. Chem. Research*, Vol. 34, No. 2:704-712.
- 6 Smernik, R. J. (2009). Biochar and sorption of organic compounds. In: Lehmann, J. & Joseph, S. *Biochar for environmental management: science and technology*. Earthscan. United Kingdom: 289-300.
- Sohi, S., Lopez Capel, E., Krull, E. & Bol, R. (2009). Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09. 8 *Soil Survey Staff*. 2014. Keys to soil taxonomy. USDA. USA.
- 22 Sohi, S. P., Krull, E., Lopez Capel, E. & Bol, R. (2010). Chapter 2-A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, 105: 47-82.
- 146 Soil Science Society of America. (1997). *Glossary of Soil Science Terms*, Madison, WI.
- 10 Soil Survey laboratory Methods Manual. (2014). United States Department of Agriculture.
- 40 Sombroek, W. G., Nachtergaele, F. O. & Hebel, A. (1993). Amounts, dynamics and sequestering of carbon in tropical and subtropical Soils. *Ambio*, 22: 417-426.
- 57 Sonia, T., Siswanto, B., & Handayanto, E. (2014). Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan biochar terhadap ketersediaan P dalam tanah dilahan kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1(1), 85-92. e-ISSN: 2549-9793
- 28 Srinivasarao, C. H., Gopinath, K. A., Venkatesh, G., Dubey, A. K., Wakudkar, H., Purakayastha, T. J., Pathak, H., Jha, P., Lakaria, B. L., Rajkhowa, D. J., Sandip Mandal, Jeyar Aman, S., Venkateswarlu, B. & Sikka, A. K. (2013). Use of Biochar for Soil health management and greenhouse gas mitigation in India: Potential and constraints, Central Research Institute for Dryland Agriculture. *Hyderabad, Andhra Pradesh*, 51p.
- Steiner, C., Teixeira, W. G., Lehmann, J., Nehls, T., De Mace do, J. L. V, Blum, W. E. H. & Zech, W. (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian up land soil. *Journal of Plant and Soil*, 291, pp. 275-290.
- 112 Steiner, C., Das, K. C., Garcia, M., Foerster, B. & Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic

- Ferralsoll. *Pedobiologia*, 51(5-6): 359-366.
- Stout, B. A. (1984). Energy use and management in agriculture. Massachusetts: Bretont.
- Sudjana, B. (2014). Pengaruh biochar dan NPK majemuk terhadap biomassa dan serapan nitrogen di daun tanaman jagung (zeamays) pada tanah typicdystrudepts. *Jurnal Ilmu Pertaniandan Perikanan*, 3 (1): 63-66.
- Sukartono & Utomo, W. H. (2012). The Role of Biochar as A Soil Amendment in Maize Cultivation on Tropical Loam Soil (Sandy Loam) of Tropical Semiarid of Lombok.
- Sukartono, Utomo, W. H., Kusuma, Z. & Nugroho, W. H. (2011). Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar application on sandy soils of Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture*, 49: 47-52.
- Sutono & Agus, F. (1998). Pengaruh pembenah tanah terhadap hasil kedelai di Cibugel, Sumedang. *Hlm. 107 -122 dalam Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat Makalah Review*. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Sutono, S. & Neneng, L. N. (2012). Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir. *Buana Sains*, 12 (1): 45-52.
- Suwardji, Utomo, W. H., Sukartono. (2012). Kemantapan agregat setelah aplikasi biochar di tanah lempung berpasir pada pertanaman jagung di lahan kering Kabupaten Lombok Utara. *Buana Sains*, 12 (1): 61-68.
- Tagoe, S. O., Takatsugu, H. & Tsutomu, M. (2008). Effects of carbonized and dried chicken manures on the growth, yield, and N content of soybean. *Plant and Soil*, 306: 211–220.
- Tambunan, S., Siswanto, B. & Handayanto, E. (2014). Pengaruh Aplikasi Bahan Organik Segar dan Biochar Terhadap Ketersediaan P dalam Tanah di Lahan Kering Malang Selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, Vol. 1, No. 1: 85-92.
- Thies, J. E. & Rillig, M. C. (2009). Characteristics of Biochar: Biological Properties. In: Lehmann, J. & Joseph, S. Biochar for environmental management: science and technology. *Earthscan*. United Kingdom, 85-105.
- Tiessen, H., Cuevas, E., & Chacon, D. (1994). The Role of Soil Organic Matter in Sustaining Soil Fertility. *Nature*, v.371, p.783-785.
- Topoliantz, S., Ponge, J. F. & Ballof, S. (2005). Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biology and Fertility of Soils*, 41: 15–21.

- Tyron, E. H. (1948). Effect of charcoal on certain physical, chemical, and biological properties of forest soils. *Ecological Monographs*, 18: 81–115.
- 117 Unger, R., Killorn, R. & Brewer, C. (2011). Effects of soil application of different biochars on selected soil chemical properties. *Common Soil Sci Plant Anal*, 42: 2310-2321.
- 109 Uzoma, K. C., Inoue, M., Andry, H., Fujimaki, H., Zahoor, A., & Nishihara, E. (2011). Effect of Cow Manure Biochar on Maize Productivity Under Sandy Soil Condition. *Soil Use Manag*, 27, 205–212.
- 6 Van Zwieten, L., Singh, B., Joseph, S., Kimber, S., Cowie, A. & Chan, K. Y. (2009). Biochar and emissions of non-CO₂ greenhouse gases from soil. In: Lehmann, J. & Joseph, S., Biochar for environmental management: science and technology. Earthscan. United Kingdom: 227-50.
- 46 Wang, J., Xiong, Z. & Kuzyakov, Y. (2016). Biochar stability in soil: meta-analysis of decomposition and priming effects. *GCB Bioenergy*, 8: 512-523.
- 90 Wang, Y., Zhang, L., Yang, H., Yan, G., Xu, Z., Chen, C., Zhang, D. (2016). Biochar Nutrient Availability Rather than Its Water Holding Capacity Governs The Growth of both C₃ and C₄ Plants. *J Soils Sediments*, 16: 801-810.
- 103 Wardle, D. A., Zackrisson, O. & Nilsson, M. C. (1998). The charcoal effect in Bioreal forests: mechanisms and ecological consequences. *Oecologia*, 115: 419–426.
- Warnock, D.D., Lehmann, J., Kuypers, T.W., & Rillig, M.C. (2007). Mycorrhizal responses to biochar in soil—concepts and mechanisms. *Plant Soil* 300:9–20.
- 1 Widowati & Asnah. (2014). Biochar Effect on Potassium Fertilizer and Leaching Potassium Doses for Two Corn Planting Seasons. *Agrivita Journal Agriculture Sciences*, 36(1): 65-71.
- 31 Widowati, Utomo, W. H., Soehono, L. A. & Guritno, B. (2011). Effect of Biochar on the Release and Loss of Nitrogen from Urea Fertilization. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 1:127- 132.
- 9 Widowati, Utomo, W. H. & Asnah. (2014). The Use of Biochar to Reduce Nitrogen and Potassium Leaching from Soil Cultivated with Maize. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 2(1):211-218. DOI:10.15243/jdmlm.2014.021.211.
- 4 Widowati, Asnah, & Sutoyo. (2012). The Effects of Biochar and Potassium Fertilizer to the Uptake and Potassium Leaching. *Buana Sains*, 12: 83-90.
- 1 Widowati, Sutoyo, Iskandar, T. & Karamina, H. (2017). Characterization of Biochar Combination With Organic Fertilizer: The Effects on Physical Properties of Some Soil Types. *Bioscience Research*, 2017 14(4): 955-965.

- 9
Widowati, Utomo, W. H., Guritno, B., & Soehono, L. A. (2010). Ketersediaan Hara NPK dengan Biochar pada Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Jagung. *Jurnal Ilmu-ilmu Hayati*, 22:58-68. 163
- Widowati, Utomo, W. H., Guritno, B., & Soehono, L. A. (2012). The effect of biochar on the growth and N fertilizer requirement of maize (*Zea mays* L.) in Green House Experiment. *Journal of Agricultural Science*, 4(5): 255-262. 4
- Widowati, Asnah, & Utomo, W. H. (2014). The use of biochar to reduce nitrogen and potassium leaching from soil cultivated with maize. *Journal of Degraded and Mining Land*. 47
- Windeatt, J. H., Ross, A. B., Williams, P. T., Forster, P. M., Nahil, M. A. & Singh, S. (2014). Characteristics of Biochars From Crop Residues: Potential for Carbon Sequestration and Soil Amendment. *Journal of Environmental Management*, No. 146:189-197. 131
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.08.003>.
- 102
Woolf, D. (2008). Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications. Swansea University, UK. http://orgprints.org/13268/01/Biochar_as_a_soil-amendment_-_a_review.pdf. Accessed on May 4, 2010.
- 35
Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I. F., Anshori, S. & Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(4): 489-495.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M. & Zimmerman, A. R. (2012). Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere*, 89: 1467-1471.
- 226
Yu, C., Tang, Y., & Fang, M. (2005). Experimental study on alkali emission during rice straw pyrolysis. *J Zhejiang Univ Eng Sci*, 39: 1435-1444. 2
- 11
Yuan, J. H. & Xu, R. K. (2011). The amelioration effects of low temperature biochar generated from nine crop residues on an acidic Ultisol. *Soil Use and Management*, 27: 110-115.
- 13
Zackrisson, O., Nilsson, M. C. and Wardle, D. (1996). Key ecological function of charcoal from wild fire in the Boreal forest. *Oikos*, 77: 10-19.
- 67
Zhang, X., Liu, W., Schloter, M., Zhang, G., Chen, Q., Huang, J., Li, L., Elser, J. J. & Han, X. (2013). Response of the abundance of key soil microbial nitrogen-cycling genes to multi factorial global changes. *PLoS One* 8 (10), e76500. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0076500>.

Zimmerman, A. R. (2010). Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*, 44, pp. 1295-1301.



1 **Dr. Ir. Widowati, MP** lahir di Manokwari, 24 Agustus 1965. Widowati berhasil menyelesaikan pendidikan **1** Sarjana di Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya tahun 1989. Gelar Master berhasil dicapai pada tahun 1994 di Universitas Brawijaya dalam bidang Ilmu Tanaman. Pada tahun 2011 berhasil menyelesaikan pendidikan Doktor dalam bidang Ilmu Pertanian.

Status sebagai dosen PNS dpk di Lembaga Layanan Dikti Wilayah VII Surabaya sejak 1993. Saat ini menduduki jabatan sebagai Wakil Rektor I di Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang, dengan jabatar **122** akademik terakhir yaitu Lektor Kepala. Selain kegiatan mengajar, juga aktif melaksanakan penelitian dan pengabdian **7** kepada masyarakat. Kegiatan penelitian diantaranya dengan judul Penggunaan Biochar **1** Sampah Organik sebagai Pupuk Kalium pada Pertumbuhan dan Hasil Jagung (2012 – 2013), Upaya Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Aplikasi Biochar dan Perir **3** pangan Pupuk N, P, K pada Hasil Tanaman Jagung (2014 - 2016), Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering (2017 - 2019), semuanya didanai oleh Kemenristek Dikti. Penelitian lain kerjasama dengan PT. Gudang Garam, Tbk dan UNITRI adalah Pemanfaatan Biochar Jengkok Tembakau-Cengkeh sebagai Alternatif Sumber Hara Kalium pada Beberapa Jenis Tanah (2016) dan Pemanfaatan Residu Biochar dan Pemangkasan pada Tanaman Tomat (2018).

Wujud pengabdian kepada masyarakat, antara lai **98** Ibm Pengrajin Bata Merah Berbahan Baku Sedimen Bendungan Sengguruh (2016), PKM Perbaikan Lahan Kritis Milik Petani Sekitar Wilayah Magersari Melalui Aplikasi Biochar di Desa Jetak, Kecamatan Montong, Kabupaten Tuban (2017). Sejak tahun 1997 hingga sekarang aktif menjadi Guru Sekolah Minggu di GPdI Gloria Malang. Sejak tahun 2012 hingga sekarang menjadi sekretaris di organisasi Asosiasi Biochar Indonesia.

1 Karya ilmiah berupa buku dengan judul Perbaikan Tanah Terdegradasi Dengan Biochar pada Tanaman Jagung (2017) dan Prinsip-Prinsip Agronomi dengan Hasil-Hasil Penelitian di Indonesia (2018). Ada tiga Paten yang telah dihasilkan dengan judul Proses Pembuatan Biochar Sampah Organik, Pembuatan Biochar Sekam Padi untuk Mengurangi Kehilangan Hara Melalui Pencucian, dan Komposisi Biochar Tongkol Jagung dan Metode Pembuatannya.

Selain itu juga mengikuti beberapa seminar sebagai pemakalah di seminar nasional. Beberapa karya ilmiah telah dipublikasi di jurnal nasional maupun internasional. Penghargaan yang telah dihasilkan yaitu Satya Lencana Karya Satya (20 tahun) dan Penyaji poster terbaik pada seminar hasil program riset terapan yang diberikan oleh Kemenristek Dikti.



¹ **Sutoyo, SP., MP.** lahir di Sidoarjo, 2 Juli 1960. Sutoyo menyelesaikan studi Sarjana Pertanian di Sekolah Tinggi Pertanian Tribhuwana Malang selesai pada tahun 2001 dan dilanjutkan ke jenjang yang lebih tinggi yaitu Magister Pertanian di Universitas Brawijaya dalam bidang Ilmu Tanaman tahun 1999.

Sejak tahun 2001 telah ditempatkan sebagai dosen PNS dpk pada Lembaga Layanan Dikti Wilayah VII Surabaya di Fakultas Pertanian dengan tugas jabatan struktural sebagai Kepala Bagian Kajian Pengembangan Kurikulum dan Pembelajaran dengan jabatan akademik

Lektor Kepala.

Penelitian yang didanai oleh DRPM Dikti yaitu Penggunaan Biochar ⁷ Sampah Organik sebagai Pupuk Kalium pada Pertumbuhan dan Hasil Jagung (2012 – 2013), Upaya Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Aplikasi Biochar dan Perimbangan Pupuk N, P, K pada Hasil Tanaman Jagung (2014 - 2016), Desain Taman Menggunakan Konsep Healing Garden sebagai Sarana Penyembuhan Penderitaan Gangguan Jiwa (2016), Karakteristik Biochar- Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering (2017 - 2019). Publikasi karya ilmiah telah dilakukan di beberapa jurnal ilmiah nasional dan internasional.

Kegiatan tridharma lainnya yaitu menjadi narasumber dalam acara dialog pedesaan dengan tema Kesehatan Lansia On Air Radio Republik Indonesia (2016), Pemanfaatan Ekstrak Daun Sirsat, Tembakau dan Laor sebagai Pestisida Nabati (2018) dan Budidaya Sayuran Cesa Hidroponik dan Pembuatan Pestisida Nabati dan Aplikasinya pada Tanaman. Penghargaan yang diterima dari Presiden Republik Indonesia berupa penghargaan Satya Lancana Karya Satya sejak tahun 2008 hingga 2016.



Hidayati Karamina, SP., SH., MP. dilahirkan di Malang 4 Januari 1991. Hidayati menempuh pendidikan Sarjana Pertanian Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Tahun 2012 dan Sarjana Hukum di Fakultas Hukum Universitas Islam Malang Tahun 2013. Selanjutnya dilanjutkan ke jenjang pendidikan Magister Pertanian di Jurusan Ilmu Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.

Sebagai seorang pengajar dengan jabatan akademik Asisten Ahli di Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tungadewi. Hidayati tidak melupakan kewajiban tridharma sebagai seorang dosen yaitu melakukan kegiatan penelitian. Kegiatan penelitian Hidayati pertama kali yaitu penelitian dosen pemula yang didanai oleh Kemristek Dikti dengan judul Analisis Kandungan Logam Berat pada Buah Jambu Biji Kristal (*psidium guajava* L.) dan Tanah di Perkebunan Desa Bumiaji, Kota Batu (2017). Sedangkan dua penelitian lain dilaksanakan dengan PT. Gudang Garam Tbk dan Unitri yaitu Pemanfaatan Biochar Jengkok Tembakau-Cengkeh sebagai Alternatif Sumber Hara Kalium pada Beberapa Jenis Tanah (2016) dan Pemanfaatan Residu Biochar pada Tanaman Tomat di Beberapa Jenis Tanah (2018). Selain itu Hidayati melaksanakan pengabdian masyarakat secara mandiri tahun 2018 dan menerima dana dari Kemristek Dikti dengan judul PKM Pertanian Organik di Kelompok Tani “Tani Mulya” dan “Rukun Damai” Desa Tawangargo, Kecamatan Karangploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur.

Karya ilmiah yang dikeluarkan oleh Hidayati berupa buku berjudul Perbaikan Tanah Terdegradasi dengan Biochar pada Tanaman Jagung (2017). Penulis juga aktif dalam mengikuti kegiatan seminar nasional seperti di UPN Veteran Yogyakarta yaitu Seminar Nasional Pembangunan Pertanian Indonesia dalam Memperkuat Lumbung Pangan, Fundamental Ekonomi dan Daya Saing Global (2018). Beberapa karya ilmiah lain adalah jurnal internasional dengan judul The Soil Organic Dynamics from Types Biochar-Organic Fertilizers and Soil (International Conference on Organic Agriculture in the Tropics: State of Art, Challenges and Opportunities 2018), jurnal nasional terakreditasi dengan judul Kompleksitas Pengaruh Temperatur dan Kelembaban Tanah Terhadap Nilai pH Tanah di Perkebunan Jambu Biji Varietas Kristal (*Psidium guajava* L.) Bumiaji, Kota Batu (2017) dan Analisis Kandungan Logam Berat Aluminium (Al), dan Timbal (Pb) pada Buah Jambu Biji Varietas Kristal (*Psidium guajava* L.) dan Tanah di Desa Bumiaji, Kota Batu (2018) serta jurnal nasional ber ISSN dengan judul Pemberdayaan Kelompok Tani Mulya dan Rukun Damai dalam Mendukung Terwujudnya Tawangargo Desa Organik (2018).

PENGUNAAN BIOCHAR DI LAHAN KERING

ORIGINALITY REPORT

22%

SIMILARITY INDEX

18%

INTERNET SOURCES

9%

PUBLICATIONS

12%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1

Submitted to Universitas Brawijaya

Student Paper

3%

2

biodiversitas.mipa.uns.ac.id

Internet Source

1%

3

zadoco.site

Internet Source

1%

4

docobook.com

Internet Source

1%

5

repository.usu.ac.id

Internet Source

1%

6

adl.brs.gov.au

Internet Source

1%

7

www.scribd.com

Internet Source

1%

8

Arnoldus Klau Berek, Prisila Oktoviana Tabati, Ursulina Uto Keraf, Edmundus Bere, Remegius Taekab, Ardianus Wora. "Perbaikan Pertumbuhan dan Hasil Kacang Tanah di Tanah

<1%

Entisol Semiarid melalui Aplikasi Biochar", Savana Cendana, 2017

Publication

9	media.neliti.com Internet Source	<1 %
10	www.isisn.org Internet Source	<1 %
11	researchonline.jcu.edu.au Internet Source	<1 %
12	pt.scribd.com Internet Source	<1 %
13	stud.epsilon.slu.se Internet Source	<1 %
14	forest.moscowfsi.wsu.edu Internet Source	<1 %
15	id.scribd.com Internet Source	<1 %
16	fitmandia14.blogspot.com Internet Source	<1 %
17	blog.ub.ac.id Internet Source	<1 %
18	ilmugeografi.com Internet Source	<1 %

www.css.cornell.edu

19

Internet Source

<1 %

20

orbit.dtu.dk

Internet Source

<1 %

21

amsdottorato.unibo.it

Internet Source

<1 %

22

ccsenet.org

Internet Source

<1 %

23

ariirvansyah.blogspot.com

Internet Source

<1 %

24

jurnal.unitri.ac.id

Internet Source

<1 %

25

mro.massey.ac.nz

Internet Source

<1 %

26

Submitted to Higher Education Commission
Pakistan

Student Paper

<1 %

27

link.springer.com

Internet Source

<1 %

28

Submitted to Sefako Makgatho Health Science
University

Student Paper

<1 %

29

etheses.uin-malang.ac.id

Internet Source

<1 %

30	Widowati, Sutoyo, T Iskandar, H Karamina. "The soil organic dynamics from types biochar-organic fertilizers and soil", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2018 Publication	<1 %
31	agrivita.ub.ac.id Internet Source	<1 %
32	lib.ugent.be Internet Source	<1 %
33	d-nb.info Internet Source	<1 %
34	forda-mof.org Internet Source	<1 %
35	dalspace.library.dal.ca Internet Source	<1 %
36	Fransiskus Xaverius Mikel, Eduardus Yosef Neonbeni. "Pengaruh Jenis Biochar dan Jenis Pupuk Organik terhadap Pertumbuhan dan Hasil Kacang Hijau (<i>Vigna radiata</i> L.)", Savana Cendana, 2017 Publication	<1 %
37	laptopchep.blogspot.com Internet Source	<1 %
38	Submitted to Cranfield University Student Paper	<1 %

39

Submitted to Universitas Jenderal Soedirman

Student Paper

<1 %

40

permanent.access.gpo.gov

Internet Source

<1 %

41

scholar.sun.ac.za

Internet Source

<1 %

42

Mohammad I. Al-Wabel, Qaiser Hussain, Adel R.A. Usman, Mahtab Ahmad, Adel Abduljabbar, Abdulazeem S. Sallam, Yong Sik Ok. "Impact of biochar properties on soil conditions and agricultural sustainability: A review", Land Degradation & Development, 2018

Publication

<1 %

43

irfanyamin.wordpress.com

Internet Source

<1 %

44

Submitted to Sriwijaya University

Student Paper

<1 %

45

Endriani Endriani, Agus Kurniawan. "Konservasi Tanah dan Karbon Melalui Pemanfaatan Biochar Pada Pertanaman Kedelai", Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi|JIITUJ|, 2018

Publication

<1 %

46

Submitted to University of Sydney

Student Paper

<1 %

47	www.tandfonline.com Internet Source	<1 %
48	Manyà, Joan J.. "Pyrolysis for Biochar Purposes: A Review to Establish Current Knowledge Gaps and Research Needs", Environmental Science & Technology, 2012. Publication	<1 %
49	geb.uni-giessen.de Internet Source	<1 %
50	www.pps.unud.ac.id Internet Source	<1 %
51	210.247.250.144 Internet Source	<1 %
52	maglovthes.blogspot.com Internet Source	<1 %
53	Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper	<1 %
54	www.tdx.cat Internet Source	<1 %
55	climag.njau.edu.cn:8039 Internet Source	<1 %
56	K. C. Uzoma. "Effect of cow manure biochar on maize productivity under sandy soil condition : Cow manure biochar agronomic effects in sandy	<1 %

57

www.jurnal.unsyiah.ac.id

Internet Source

<1 %

58

doniarmstrongs.blogspot.com

Internet Source

<1 %

59

Submitted to Universitas Sebelas Maret

Student Paper

<1 %

60

www.csf-desertification.org

Internet Source

<1 %

61

Shinta Elvita Bella, Rahmat Padrikan.
"Pemanfaatan Biochar Cangkang Kelapa Sawit
Sebagai Substitusi Pupuk NPK Dalam
Peningkatan Kualitas Lahan Pertanian", Journal
of Applied Agricultural Science and Technology,
2018

Publication

<1 %

62

anzdoc.com

Internet Source

<1 %

63

Submitted to Kwame Nkrumah University of
Science and Technology

Student Paper

<1 %

64

docplayer.info

Internet Source

<1 %

65

www.iosrjen.org

<1 %

66

alhikmatu.blogspot.com

Internet Source

<1 %

67

aem.asm.org

Internet Source

<1 %

68

edocs.fu-berlin.de

Internet Source

<1 %

69

amslaurea.unibo.it

Internet Source

<1 %

70

Submitted to Udayana University

Student Paper

<1 %

71

www.dpi.nsw.gov.au

Internet Source

<1 %

72

id.123dok.com

Internet Source

<1 %

73

Laksmita Prima SANTI, Didiek Hadjar
GOENADI. "Pemanfaatan bio-char sebagai
pembawa mikroba untuk pemantap agregat
tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung The
use of bio-char as bacterial carrier for aggregate
stabilization in Ultisol Soil from Taman Bogo-
Lampung", E-Journal Menara Perkebunan,
2016

Publication

<1 %

74

Agung Putra Hidayat, Damris Damris.
"Pengaruh Penambahan Biochar dari Batubara
Lignite pada Tanah Bekas Penambangan
Batubara Terhadap Konsentrasi Logam
Kadmium (Cd) Terlarut Menggunakan Kolom
Fixed Bed Sorpsion", Jurnal Engineering, 2019

Publication

<1 %

75

pustaka.litbang.pertanian.go.id

Internet Source

<1 %

76

eprints.uns.ac.id

Internet Source

<1 %

77

Submitted to Politeknik Negeri Jember

Student Paper

<1 %

78

jurnal.untad.ac.id

Internet Source

<1 %

79

theses.ncl.ac.uk

Internet Source

<1 %

80

genetech.csiro.au

Internet Source

<1 %

81

fr.scribd.com

Internet Source

<1 %

82

repository.ung.ac.id

Internet Source

<1 %

83

Submitted to Universitas Muria Kudus

Student Paper

<1 %

84	www120.secure.griffith.edu.au Internet Source	<1 %
85	www.majalahbatu.com Internet Source	<1 %
86	biochar-atlantic.org Internet Source	<1 %
87	Afeng Zhang, Yuming Liu, Genxing Pan, Qaiser Hussain, Lianqing Li, Jinwei Zheng, Xuhui Zhang. "Effect of biochar amendment on maize yield and greenhouse gas emissions from a soil organic carbon poor calcareous loamy soil from Central China Plain", Plant and Soil, 2011 Publication	<1 %
88	eprints.lancs.ac.uk Internet Source	<1 %
89	jalutommy.blogspot.com Internet Source	<1 %
90	real.mtak.hu Internet Source	<1 %
91	biocharproject.org Internet Source	<1 %
92	Submitted to Associatie K.U.Leuven Student Paper	<1 %
93	ddd.uab.cat	

<1 %

94

tees.openrepository.com

Internet Source

<1 %

95

etheses.whiterose.ac.uk

Internet Source

<1 %

96

www.slideshare.net

Internet Source

<1 %

97

eprints.unram.ac.id

Internet Source

<1 %

98

lppm.unsika.ac.id

Internet Source

<1 %

99

books.irri.org

Internet Source

<1 %

100

www.tia.tas.edu.au

Internet Source

<1 %

101

cleanupconference.com

Internet Source

<1 %

102

www.biocharsolutions.com

Internet Source

<1 %

103

ueaeprints.uea.ac.uk

Internet Source

<1 %

104

agribisnis.fp.uns.ac.id

Internet Source

<1 %

105	Submitted to Syiah Kuala University Student Paper	<1 %
106	coumgo.blogspot.com Internet Source	<1 %
107	ncsu.edu Internet Source	<1 %
108	biochar.ucdavis.edu Internet Source	<1 %
109	agro.icm.edu.pl Internet Source	<1 %
110	www.swcs.org Internet Source	<1 %
111	www.klimagarten.uni-tuebingen.de Internet Source	<1 %
112	Submitted to University of Wales Swansea Student Paper	<1 %
113	aliciaqotrunnada.blogspot.com Internet Source	<1 %
114	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
115	kie.is.pcz.pl Internet Source	<1 %
116	nfr.factory.free.fr	

Internet Source

<1 %

117 theses.ulaval.ca
Internet Source

<1 %

118 aaasjournal.org
Internet Source

<1 %

119 www.greenhouse.org.au
Internet Source

<1 %

120 acs.pha.jhu.edu
Internet Source

<1 %

121 Naba Raj Pandit, Jan Mulder, Sarah Elizabeth Hale, Vegard Martinsen, Hans Peter Schmidt, Gerard Cornelissen. "Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil", Science of The Total Environment, 2018
Publication

<1 %

122 Submitted to Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Student Paper

<1 %

123 es.scribd.com
Internet Source

<1 %

124 ojs.stiperkutim.ac.id
Internet Source

<1 %

semnaslahansuboptimal.unsri.ac.id

125	Internet Source	<1 %
126	jtsiskom.undip.ac.id Internet Source	<1 %
127	researcharchive.vuw.ac.nz Internet Source	<1 %
128	www.diss.fu-berlin.de Internet Source	<1 %
129	issuu.com Internet Source	<1 %
130	repository.warmadewa.ac.id Internet Source	<1 %
131	file.scirp.org Internet Source	<1 %
132	Jamin Saputra. "Potensi Biochar dari Limbah Biomassa Perkebunan Karet Sebagai Amelioran dan Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca", Warta Perkaretan, 2012 Publication	<1 %
133	bdigital.unal.edu.co Internet Source	<1 %
134	bengkulu.litbang.pertanian.go.id Internet Source	<1 %
135	krishikosh.egranth.ac.in	

Internet Source

<1 %

136

biblio.ugent.be

Internet Source

<1 %

137

hedisasrawan.blogspot.com

Internet Source

<1 %

138

Submitted to Universitas Jember

Student Paper

<1 %

139

eprints.upnyk.ac.id

Internet Source

<1 %

140

kyomecha.org

Internet Source

<1 %

141

humairafarm.blogspot.com

Internet Source

<1 %

142

ugm.ac.id

Internet Source

<1 %

143

www.ecn.nl

Internet Source

<1 %

144

Submitted to UIN Syarif Hidayatullah Jakarta

Student Paper

<1 %

145

www.uea.ac.uk

Internet Source

<1 %

146

venus.semyung.ac.kr

Internet Source

<1 %

147	Yenni Asbur, Rahmi Dwi Handayani Rambe, Yayuk Purwaningrum, Dedi Kusbiantoro. "POTENSI BEBERAPA GULMA SEBAGAI TANAMAN PENUTUP TANAH DI AREA TANAMAN KELAPA SAWIT MENGHASILKAN", Jurnal Penelitian Kelapa Sawit, 2018 Publication	<1 %
-----	--	------

148	kum-tugas.blogspot.com Internet Source	<1 %
-----	---	------

149	Submitted to Universitas Muhammadiyah Surakarta Student Paper	<1 %
-----	---	------

150	www.gssrr.org Internet Source	<1 %
-----	---	------

151	pur-plso.unsri.ac.id Internet Source	<1 %
-----	---	------

152	www.greengazette.co.za Internet Source	<1 %
-----	---	------

153	balittanah.litbang.deptan.go.id Internet Source	<1 %
-----	---	------

154	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1 %
-----	---	------

155	www.kuwaluhan.com Internet Source	<1 %
-----	---	------

156	mekarn.org Internet Source	<1 %
157	Submitted to Mahidol University Student Paper	<1 %
158	repository.maranatha.edu Internet Source	<1 %
159	jurnal.unmer.ac.id Internet Source	<1 %
160	faiezblo.blogspot.com Internet Source	<1 %
161	Retno Prayudyaningsih, Ramdana Sari. "THE APPLICATION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI (AMF) AND COMPOST TO IMPROVE THE GROWTH OF TEAK SEEDLINGS (Tectona grandis Linn. f.) ON LIMESTONE POST-MINING SOIL", Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea, 2016 Publication	<1 %
162	onlinelibrary.wiley.com Internet Source	<1 %
163	agrotek.unitri.ac.id Internet Source	<1 %
164	jbcr.co.in Internet Source	<1 %

165	www.annadana.com Internet Source	<1 %
166	www.scirj.org Internet Source	<1 %
167	matlab.exponenta.ru Internet Source	<1 %
168	orion.math.iastate.edu Internet Source	<1 %
169	Niken Puspita sari, Teguh Iman Santoso, Surip Mawardi. "Distribution of Soil Fertility of Smallholding Arabica Coffee Farms at Ijen-Raung Highland Areas Based on Altitude and Shade Trees", Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal), 2013 Publication	<1 %
170	architulistiwa.blogspot.com Internet Source	<1 %
171	www.winterschule.ufz.de Internet Source	<1 %
172	www.ridgetownc.com Internet Source	<1 %
173	www.archive.org Internet Source	<1 %
174	jurnalkehutanantropikahumida.zohosites.com Internet Source	<1 %

175	agbios.com Internet Source	<1 %
176	repository.lasalle.edu.co Internet Source	<1 %
177	marno.lecture.ub.ac.id Internet Source	<1 %
178	ft.jtam.unlam.ac.id Internet Source	<1 %
179	Submitted to Universitas PGRI Semarang Student Paper	<1 %
180	Submitted to University of Muhammadiyah Malang Student Paper	<1 %
181	onyhts.blogspot.com Internet Source	<1 %
182	inswa.or.id Internet Source	<1 %
183	www.organicagcenter.ca Internet Source	<1 %
184	rivaarifin.blogspot.co.id Internet Source	<1 %
185	komunitaspetanioplosan.blogspot.com Internet Source	<1 %

186	Aan Rinaldi, Dermiyati Dermiyati, Rianida Taisa, Afandi Afandi. "PENGARUH PEMBERIAN KOMBINASI PUPUK ORGANONITROFOS DAN PUPUK KIMIA DENGAN PENAMBAHAN BIOCHAR TERHADAP KEMANTAPAN AGREGAT TANAH ULTISOL DI NATAR DAN TAMAN BOGO", Jurnal Agrotek Tropika, 2019 Publication	<1 %
187	Submitted to University of Reading Student Paper	<1 %
188	Submitted to Harper Adams University College Student Paper	<1 %
189	Jamin Saputra, Charlos Togi Stevanus. "APLIKASI KOMPOS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA TANAMAN KARET MENGHASILKAN", Warta Perkaretan, 2019 Publication	<1 %
190	jambi.litbang.pertanian.go.id Internet Source	<1 %
191	pmcarbono.org Internet Source	<1 %
192	Submitted to iGroup Student Paper	<1 %
193	I. D. Karachentsev. "Flat Galaxy Catalogue", Astronomische Nachrichten A Journal on all	<1 %

Fields of Astronomy, 1993

Publication

-
- | | | |
|-----|---|--------|
| 194 | Kathryn E. Freemark, Céline Boutin, Cathy J. Keddy. "Importance of Farmland Habitats for Conservation of Plant Species", Conservation Biology, 2002
<small>Publication</small> | $<1\%$ |
|-----|---|--------|
-
- | | | |
|-----|--|--------|
| 195 | ndn.nuclearfallout.net
<small>Internet Source</small> | $<1\%$ |
|-----|--|--------|
-
- | | | |
|-----|--|--------|
| 196 | Rindang Wicaksono, Darwin H. Pangaribuan, Akari Edy, Hidayat Pujisiswanto. "PENGARUH PUPUK BIO-SLURRY PADAT DENGAN KOMBINASI DOSIS PUPUK NPK PADA PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI JAGUNG MANIS (Zea mays saccharata Sturt)", Jurnal Agrotek Tropika, 2019
<small>Publication</small> | $<1\%$ |
|-----|--|--------|
-
- | | | |
|-----|--|--------|
| 197 | www.ldii.or.id
<small>Internet Source</small> | $<1\%$ |
|-----|--|--------|
-
- | | | |
|-----|--|--------|
| 198 | Pujiyanto .. "Response of Arabica Coffee Cultivated on Andisols on Organic Matter Applications", Pelita Perkebunan (a Coffee and Cocoa Research Journal), 2013
<small>Publication</small> | $<1\%$ |
|-----|--|--------|
-
- | | | |
|-----|---|--------|
| 199 | Submitted to Universitas Riau
<small>Student Paper</small> | $<1\%$ |
|-----|---|--------|
-

200	Submitted to University of Keele Student Paper	<1 %
201	pangan.litbang.pertanian.go.id Internet Source	<1 %
202	fauzurr.blogspot.com Internet Source	<1 %
203	www.readbag.com Internet Source	<1 %
204	brage.bibsys.no Internet Source	<1 %
205	www.springerlink.com Internet Source	<1 %
206	Submitted to Nottingham Trent University Student Paper	<1 %
207	Ahmad Hidayat, Jamalam Lumbanraja, Setyo Dwi Utomo, Hidayat Pujisiswanto. "Respon Tanaman Jagung (Zea mays L.) terhadap Sistem Olah Tanah pada Musim Tanam Ketiga di Tanah Ultisol Gedung Meneng Bandar Lampung", Jurnal Agrotek Tropika, 2018 Publication	<1 %
208	www.biomedsearch.com Internet Source	<1 %
209	generalpoenya.blogspot.com Internet Source	<1 %

210	fandicka.wordpress.com Internet Source	<1 %
211	ecommons.usask.ca Internet Source	<1 %
212	konsultasiskripsi.com Internet Source	<1 %
213	pustaka.unpad.ac.id Internet Source	<1 %
214	Submitted to Universitas Negeri Surabaya The State University of Surabaya Student Paper	<1 %
215	jurnal.um-palembang.ac.id Internet Source	<1 %
216	ekapratiwi4015.blogspot.com Internet Source	<1 %
217	semirata2016.fp.unimal.ac.id Internet Source	<1 %
218	Submitted to University of Greenwich Student Paper	<1 %
219	DESMOND H. FOLEY, JOAN H. BRYAN, RICHARD C. WILKERSON. "Species-richness of the Anopheles annulipes complex (Diptera: Culicidae) revealed by tree and model-based allozyme clustering analyses", Biological Journal	<1 %

220	KARAARSLAN, Emel and GÜR, Kemal. "Üç farklı herbisit in iki farklı tekstüre sahip toprakta mikrobiyal nitrifikasyon üzerine etkileri", Tubitak, 2009.	<1 %
-----	---	------

Publication

221	ZHU, Qiao-Hong, Xin-Hua PENG, Tai-Qing HUANG, Zu-Bin XIE, and N.M. HOLDEN. "Effect of Biochar Addition on Maize Growth and Nitrogen Use Efficiency in Acidic Red Soils", Pedosphere, 2014.	<1 %
-----	--	------

Publication

222	David Waters. "Biochar in Soil for Climate Change Mitigation and Adaptation", Soil Biology, 2011	<1 %
-----	--	------

Publication

223	Submitted to Universitas Islam Indonesia	<1 %
-----	--	------

Student Paper

224	S. D. Joseph. "An investigation into the reactions of biochar in soil", Australian Journal of Soil Research, 2010	<1 %
-----	---	------

Publication

225	Submitted to Universiti Sains Malaysia	<1 %
-----	--	------

Student Paper

226	Capraro, Giuseppe(Fiorini, Maurizio). "Il Biochar	
-----	---	--

come mezzo per la riduzione delle emissioni di CO2 in atmosfera", AMS Tesi di Laurea - AlmaDL - Università di Bologna, 2010.

Publication

<1 %

227

Klaus Lorenz, Rattan Lal. "Carbon Sequestration in Agricultural Ecosystems", Springer Nature, 2018

Publication

<1 %

228

Submitted to Universitas Pendidikan Indonesia

Student Paper

<1 %

229

Tomy Irawan, Slamet Budi Yuwono. "Infiltrasi Pada Berbagai Tegakan Hutan Di Arboretum Universitas Lampung", Jurnal Sylva Lestari, 2016

Publication

<1 %

230

Submitted to Surabaya University

Student Paper

<1 %

231

Submitted to University of Western Sydney

Student Paper

<1 %

232

Submitted to Universitas Mulawarman

Student Paper

<1 %

Exclude quotes

Off

Exclude matches

Off

Exclude bibliography

Off